



SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA SAN PEDRO

SEMINARIO

SOLARIZACION DEL SUELO



Fecha: 27 de Setiembre de 1995
Lugar: EEA INTA San Pedro.

Ruta 9 km 170 - 2930 San Pedro * Telefax: (0329) 24074/25075/23321
* E-mail: esanpe!postmaster@intact.edu.ar

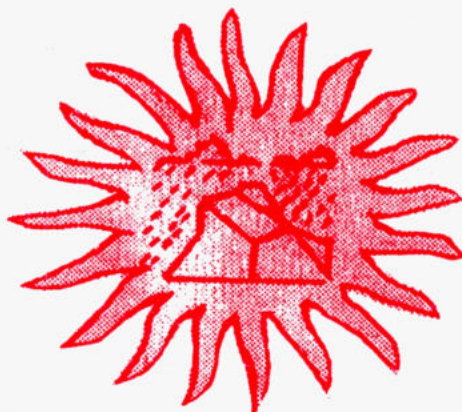


SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA SAN PEDRO

SEMINARIO

SOLARIZACION DEL SUELO

Coordinación: Ing. Agr. Irma Z. M. de Mitidieri

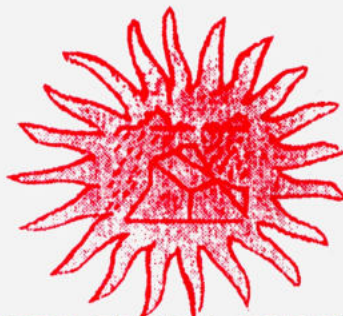


Fecha: 27 de Setiembre de 1995
Lugar: EEA INTA San Pedro.

Ruta 9 km 170 - 2930 San Pedro * Telefax. (0329) 24074/25075/23321
* E-mail: esanpe!postmaster@intact.edu.ar



SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA SAN PEDRO



SEMINARIO

SOLARIZACION DEL SUELO

Coordinación: Ing. Agr. Irma Z.M. de Mitidieri

*** La solarización del suelo: aspectos fitopatológicos.**
Ing. Agr. Irma Z.M. de Mitidieri

*** Efecto de herbicidas.**
Ing. Agr. Agustín Mitidieri

*** Aspectos climáticos.**
Ing. Agr. Nora Francescangeli

*** Impacto en la producción.**
Ing. Agr. Mariel Mitidieri

*** Efecto sobre la fertilidad del suelo**
Ing. Agr. Adolfo Amma

Fecha: 27 de Setiembre de 1995
Lugar: EEA INTA San Pedro.

Ruta 9 km 170 - 2930 San Pedro * Telefax. (0329) 24074/25075/23321
* E-mail: esanpe!postmaster@intact.edu.ar

LA SOLARIZACION DEL SUELO, ASPECTOS FITOPATOLOGICOS

Ing. Agr. Irma Martinengo de Mitidieri

Estación Experimental Agropecuaria INTA de San Pedro - Buenos Aires
- Argentina.

INTRODUCCION

Los cultivos hortícolas, son particularmente favorables para el desarrollo de enfermedades, causadas por hongos del suelo, que producen marchitamiento de las plantas, muerte súbita o podredumbres de raíces y cuello.

La presencia de estas enfermedades, generan pérdidas económicas importantes, tanto en cultivo a campo como bajo invernáculo.

Generalmente, éstos cultivos se realizan en explotaciones de pequeñas superficies, que obligan al uso repetido del suelo con una misma hortaliza.

Indefectiblemente, con el manejo de estos monocultivos, aparecen efectos negativos como el cansancio o fatiga del suelo y el aumento del potencial de inóculo de los geopatógenos.

De esta manera, los productores se ven forzados a realizar la desinfección del suelo o de otra manera, deben cambiar la tierra o el cultivo.

Las técnicas tradicionales de desinfección del suelo, que se vienen empleando, para la preparación de plantines de hortalizas o invernáculos antes de la implantación del cultivo, son de naturaleza química, como la aplicación de fumigantes o bien de naturaleza física como el vapor de agua.

Ambas técnicas presentan algunos inconvenientes; las primeras, pueden generar problemas toxicológicos y ambientales y las segundas, son muy costosas y operativamente muy difíciles de manejar.

La desinfección del suelo por medio de la energía solar (solarización) se está empleando con buenos resultados en muchos países, como una alternativa válida a los métodos convencionales.

Ya desde la antigüedad, existía la costumbre, de exponer el suelo o los restos de cosecha a los rayos del sol, durante el verano, para sanearlos.

En 1939, Grooshevoy, fitopatólogo ruso, estableció que, calentando el suelo por medio de la energía solar, se podría controlar a los hongos patógenos.

En Israel, Katan y colaboradores en 1976, utilizaron por primera vez una película de polietileno para calentar el suelo y sentaron los principios de una nueva técnica para el control de los hongos patógenos del suelo.

En 1977, fitopatólogos de la Universidad de Davis, California, obtuvieron excelente control de *Verticillium dahliae* mediante la solarización del suelo demostrando la factibilidad de la aplicación de ésta práctica (Pullman y De Vay, 1977, en Katan 1987).

De allí en adelante, aparecieron numerosos trabajos que ratificaron exitosas experiencias de solarización del suelo para el control de patógenos, malezas y nemátodos llevados a cabo en Israel, Estados Unidos, Japón, Grecia, Italia, Egipto, Portugal, España, Francia, Méjico, Perú y Argentina.

Actualmente, la solarización es usada comercialmente en Israel y Estados Unidos.

LA SOLARIZACION DEL SUELO - CONCEPTO

Varios términos fueron usados para describir esta técnica, por ejemplo podemos encontrar: calentamiento solar del suelo, desinfección solar del suelo, calentamiento del suelo mediante cobertura con polietileno, pasteurización, solarización etc

El término pasteurización, se ajusta para designar esta técnica, ya que el método incluye repetidos calentamientos diarios del suelo a temperaturas moderadas.

El nombre de solarización del suelo, fue introducido por fitopatólogos norteamericanos y utilizado por Katan, como sinónimo de calentamiento del suelo (Katan, 1981), actualmente es el término más generalizado.

La solarización es una técnica extremadamente simple, que consiste en cubrir el suelo antes de la implantación del cultivo, y en verano, durante la época de mayor insolación, con una fina película de polietileno transparente e incoloro durante 4 o 6 semanas.

El polietileno extendido sobre el suelo, sirve para capturar la energía solar. Antes de la aplicación, el terreno deberá ser bien trabajado, y regado hasta alcanzar un potencial hídrico próximo a la capacidad de campo, para favorecer la transmisión del calor y aumentar la sensibilidad de los microorganismos patógenos a las altas temperaturas.

Esta práctica, por causas todavía no bien definidas, activa mecanismos de tipos físico, químico y biológicos del suelo, que producen la muerte de los hongos patógenos del suelo, incrementos en los rendimientos de los cultivos y disminución de las poblaciones de malezas, principalmente anuales.

PRINCIPIOS Y TECNOLOGIA

Katan, (1981 - 1987), estableció los principios básicos de la solarización del suelo, y juntamente con experiencias posteriores de otros autores podemos resumir:

a) La solarización del suelo debe realizarse durante el período en que se registren las más altas temperaturas y más intensa radiación solar.

b) El suelo debe estar húmedo, para aumentar la sensibilidad térmica de los propágulos fúngicos y mejorar la conducción del calor. Se debe regar antes de la colocación del polietileno, los riegos adicionales durante la solarización, generalmente no son necesarios, excepto, en suelos muy sueltos.

c) Se debe utilizar una película de polietileno transparente y fina (25 - 30 micrones) porque además de económica es más efectiva.

d) Debido a que las capas superiores del suelo se calientan más rápido e intensamente que las profundas, el tratamiento debe ser lo suficientemente prolongado, (4 semanas o más) para obtener un buen control.

De acuerdo a experimentos realizados en Israel (Katan, 1985), para matar el 90 - 100 % de los esclerocios de *Verticillium dahliae*, la duración de los períodos de solarización serán de: 3-6 días a 10 cm de profundidad; 14 - 20 días a 30 cm ; 20 - 30 días a 40 cm y 30 - 42 días hasta 50 cm.

e) El polietileno debe quedar bien adherido al suelo, evitando la formación de bolsones de aire, para ello la tierra debe estar bien refinada (sin cascotes) y nivelada y el polietileno perfectamente extendido.

f) El tratamiento pierde efectividad en los bordes, afectando una franja de aproximadamente 60 cm de ancho (Grinstein et al., 1995) Para minimizar este efecto, conviene asegurar bien el polietileno en los bordes, practicando surcos profundos y fijándolos con tierra.

g) La solarización del suelo, puede resultar más eficaz si se realiza una cobertura total del suelo y no solo en franjas y también mejorando los materiales plásticos.

h) El control de los hongos patógenos del suelo por efecto de la solarización, puede perdurar durante 2 o 3 cosechas sucesivas pero esto depende del cultivo y de los niveles de infección previos a la realización de esta práctica.

EFFECTO SOBRE LOS HONGOS PATOGENOS DEL SUELO

Ultimamente, en diferentes países, se realizaron numerosos ensayos, para comprobar si el aumento de la temperatura del suelo por medio de la energía solar, podría eliminar la micoflora patógena del mismo, determinante de enfermedades radiculares que causan importantes pérdidas en muchos cultivos.

Se configuró una lista con los nombres de los agentes etiológicos que fueron satisfactoriamente controlados por la técnica de solarización del suelo y la cita bibliográfica.

Cuadro 1. Principales microorganismos controlados satisfactoriamente mediante la solarización del suelo.

Microorganismos	Citas bibliográficas
Streptomyces spp.	Grinstein et al.,1995
Fusarium oxysporum f sp. lycopersici	Katan et al.,1976
Fusarium oxysporum f.sp. cumini	Ludha, 1995.
Fusarium oxysporum f.sp. dianthi	Greenberger,et al.,1987. Hardy y Sirasithanparam, 1983.
Macrophomina phaseolina	Ludha,1995.
Phoma lycopersici	Cartia et al.,1989.
Phytophthora nicotianae var parasitica	Garibaldi y Tamietti, 1988.
Phytophthora capsici	Cartia, 1989.
Rhizoctonia solani	Abdel-Rahimet et al.,1988 Triolo et al.,1988. Tamietti y Garibaldi, 1989. Mitidieri, 1994.
Rhizoctonia fragariae	Cortellini et al.,1990.
Rosellinia necatrix	Greenberger,et al.,1987.
Heterodera avenae	Grinstein et al.,1995.
Meloidogyne incognita	Abdel-Rahim et al.,1988.

Cuadro 1. Principales microorganismos controlados satisfactoriamente mediante la solarización del suelo.

Microorganismos	Citas bibliográficas
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	Smith et al. 1984.
<i>Didymella lycopersici</i>	Besri, 1983.
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>fragariae</i>	Horiuchi, 1984; Kodama and Fukai, 1982.
<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i>	Katan et al., 1983.
<i>Orobanche</i> spp.	Horowitz et al., 1980.
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Pinkas et al., 1984.
<i>Pyrenochaeta lycopersici</i>	Goisque et al., 1984; Katan 1981; Mlathrakis et al., 1983 Tamietti y Garibaldi 1981 Tjamos, 1984.
<i>Pyrenochaeta terrestris</i>	Katan et al., 1980; Rabinowitch et al., 1981
<i>Pythium ultimum</i>	Pullman et al., 1981.
<i>Sclerotinia minor</i>	Porter y Merriman, 1983, 1985.
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Porter y Merriman, 1985.
<i>Sclerotium cepivorum</i>	El Yamani et al., 1983; Porter y Merriman, 1983.
<i>Sclerotium oryzae</i>	Usmani y Ghaffar, 1982.
<i>Sclerotium rolfsii</i>	Grinstein et al., 1979; Mihail y Alcorn, 1984.
<i>Verticillium dahliae</i>	Ashworth y Gaona, 1982 Katan et al. 1976; Pullman et al., 1981.
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	Siti et al., 1982.
<i>Globodera rostochiensis</i>	Lamondia y Brodie, 1984.
<i>Helicotylenchus diaonicus</i>	Stapleton y De Vay, 1983.

Cuadro 1. Principales microorganismos controlados satisfactoriamente mediante la solarización del suelo.

Microorganismo	Cita bibliográfica.
Heterodera trifolii	Hadar et al. 1983.
Meloidogyne hapla	Stapleton y De Vay, 1983.
Meloidogyne javanica	Porter y Merriman, 1983; Cenis, 1984.
Pratylenchus thornei	Grinstein et al. 1979

Katan 1987

MECANISMOS INVOLUCRADOS EN EL CONTROL DE LOS HONGOS PATOGENOS DEL SUELO

La solarización, como proceso termohídrico del suelo, incide sobre los componentes bióticos y abióticos del patosistema, tanto durante como después de realizado, creando un nuevo estado de equilibrio biológico del cual dependerá el desarrollo de las enfermedades.

El mayor componente involucrado, es la población patógena y el efecto de la energía solar sobre ella, dependerá de la densidad y potencial de inóculo inicial.

Entre los principales efectos que causa la solarización del suelo, sobre los hongos causantes de enfermedades radicales, podemos mencionar:

1. Efecto térmico.

Los propágulos fúngicos, pueden ser físicamente afectados por las altas temperaturas y elevada humedad que se producen debajo de las cubiertas de polietileno durante la solarización, por un determinado número de días y quedar total o parcialmente destruidos, debilitados, con menor potencial infectivo y poca longevidad.

Cuando la temperatura supera la máxima necesaria para el desarrollo de un patógeno, puede resultar inhibitoria o letal para el mismo.

Las temperaturas subletales, permiten la sobrevivencia de las estructuras de resistencia, pero las hacen más vulnerables a las condiciones climáticas adversas y a la acción de los antagonistas naturales.

2. Control biológico

Durante el proceso de solarización, se producen cambios cuali-cuantitativos de la microflora del suelo, que consisten en las disminuciones de las poblaciones de algunos patógenos e incrementos de los antagonistas naturales, especies termotolerantes dotadas de notable capacidad saprofitaria, como *Trichoderma*, *Aspergillus* y *Penicillium* etc.

Todos los suelos agrícolas, se caracterizan por poseer una compleja actividad microbiana, que ejerce un control biológico natural sobre los microorganismos patógenos y contribuye a disminuir el efecto destructivo de muchas enfermedades.

Los métodos drásticos de desinfección del suelo (vapor o fumigantes químicos) producen el vacío biológico del suelo y favorecen las rápidas reinfecciones del mismo.

La solarización en cambio, por realizar una desinfección parcial del suelo y llevarse a cabo mediante bajas temperaturas, puede crear o estimular mecanismos de control biológico que actuarán sobre el inóculo existente o bien sobre el inóculo introducido después de la solarización.

El control biológico del inóculo de los patógenos del suelo durante la solarización, se realiza mediante:

a) Represión microbiana.

Las temperaturas subletales, aumentan la salida de los compuestos orgánicos solubles en agua a partir de los esclerocios de *Sclerotium rolfsii*, favoreciendo la colonización microbiana. También contribuyen a la formación de resquebrajaduras sobre la superficie del esclerocio.

Trichoderma spp. resulta el colonizador dominante en los suelos solarizados.

b) Reducción de la fungistasis

La solarización, puede también anular total o parcialmente la fungistasis de *Sclerotium rolfsii* (Greenberger et al., 1985), *Fusarium spp.* y *Penicillium frequentans* (Katan et al., 1976); *Verticillium dahliae* (Ashworth y Gaona, 1982); haciendo que los propágulos fúngicos germinen en ausencia del huésped y en tal situación, agoten sus reservas y sean más vulnerables a la actividad microbiana antagonista.

La germinación suicida del inóculo, por reducción de la fungistasis, mejora los efectos de la solarización.

c) Humedad constante en el suelo.

Es la mejor condición para asegurar la actividad de los antagonistas naturales y mejorar el control biológico.

d) Sustancias volátiles.

La cubierta de polietileno, sella el suelo y causa la acumulación de sustancias volátiles, tóxicas y antifúngicas.

e) Cambios en la composición microbiológica del suelo.

Durante la solarización, se producen cambios en la composición microbiológica del suelo, a favor de los antagonistas y en detrimento de los patógenos. En algunos casos, la población de *Trichoderma* aumenta después de la solarización (Elad et al., 1980, en Chet, 1987).

Las *Pseudomonas* del tipo fluorescentes, son benéficas y rápidamente colonizan el suelo solarizado y las raíces de las plantas, especialmente en los primeros estados de desarrollo de la planta (Gamliel y Katan, 1992).

En los suelos solarizados, aumentan los porcentajes de bacterias Gram positivas que producen antibióticos "in vitro".

Tanto los antagonistas líticos, como los productores de antibióticos son estimulados en los suelos solarizados.

3. Reinfecciones

El suelo solarizado, resulta más hostil y menos susceptible a las infecciones. Muchos microorganismos tolerantes al calor, sobreviven en los suelos solarizados y previenen las reinfecciones. Esto confiere durabilidad al tratamiento.

Existen evidencias claras que la solarización de los suelos proporciona a éstos, el carácter represivo para algunos patógenos como *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi*; *Phytophthora cinnamomi* y *Rosellinia necatrix*, *Pythium* spp, *Verticillium dahliae* etc. (Greenberger, et al., 1987).

La represividad del suelo, es un fenómeno común, que ocurre naturalmente en muchos suelos y puede ser inducido por medio de prácticas agrícolas, empleo de compost, solarización etc.

Los procesos de control biológico, favorecen la represividad del suelo, por el aumento de las poblaciones saprófitas.

Es por eso, que las reinfecciones con hongos patógenos y la difusión de enfermedades radiculares, son menos frecuentes en los suelos solarizados que en los fumigados químicamente o esterilizados con vapor a altas temperaturas.

CONTROL DE ENFERMEDADES MEDIANTE LA SOLARIZACION DEL SUELO

1. Caída o marchitamiento de la lechuga (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib) d By.) y (*S. minor* Jagger).

a) Antecedentes

El control de esta enfermedad, importante del cultivo de la lechuga, fue satisfactorio, mediante la técnica de la solarización del suelo, tanto a campo abierto, como bajo invernáculo, logrando reducciones significativas en la difusión de la enfermedad, aumentos en la emergencia y en los rendimientos (Triolo et al., 1985 y 1988; Materazzi et al., 1987).

Triolo et al., (1988), constataron en suelos solarizados para el control de *S.minor*, aumentos en las poblaciones de especies termotolerantes con *Aspergillus*, formas especiales de *Fusarium*, *Penicillium* y *Trichoderma*.

Vannacci et al., (1988), demostraron que la solarización del suelo, aceleró la descomposición de los esclerocios de *S.minor* en los primeros 6 cm del suelo y que al cabo de 14 días, perdieron totalmente la viabilidad; en cambio, los esclerocios ubicados en los estratos más profundos del suelo necesitaron alrededor de 41 días para obtener los mismos resultados.

b) Ensayos en la E.E.A.INTA de San Pedro

b,1) Campo

En la E.E.A.INTA de San Pedro, en 1992 y 1993, se realizaron ensayos a campo, para evaluar el efecto de la solarización del suelo sobre la caída o marchitamiento de la lechuga (*Sclerotinia sclerotiorum* y *S.minor*).

Se utilizó estiércol de ave como enmienda orgánica y lechuga cv "GALLEGA DE INVIERNO". Se empleó una cubierta de polietileno transparente de 40 micrones "PLASTAR SAN LUIS", que se aplicó sobre el suelo bien regado, y se dejó por 45 días durante el mes de enero y primera quincena de febrero.

Se trabajó con un diseño experimental en bloques completos al azar con 4 repeticiones y parcelas de 3 x 12 metros.

También se ensayaron para el control de esta enfermedad, métodos químicos y biológicos

Los resultados obtenidos indican que, la cobertura de polietileno elevó los valores térmicos en 10 °C.

La eficacia de la solarización, para el control de la caída o marchitamiento de la lechuga se expresa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Efecto de la solarización sobre algunos parámetros de la producción de lechuga.

Parámetros	1992	1993
Incremento de la emergencia %	42,0	30,0
Incremento de la altura %	13,3	10,8
Control de la enfermedad %	29,6	66,1
Incremento del rendimiento %	78,2	43,0

Excepto en el control de la enfermedad, que tuvo un aumento significativo, se observa una disminución del efecto de la solarización sobre los parámetros de la producción al segundo año de solarizar el mismo lote.

Los tratamientos químicos y biológicos dieron en general, mejores resultados en suelos solarizados que en los no solarizados. Cuadro 3.

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos químicos y biológicos sobre el control de *S.sclerotiorum* y *S.minor*

Tratamientos	Porcentajes de control			
	Solarizado		No solarizado	
	1992	1993	1992	1993
Procimidone	68,0	70,3	62,0	50,0
Trichoderma	26,0	37,0	-	52,6

En las plantas enfermas, se constató que un 61 % de las mismas estaban atacadas por *Sclerotinia sclerotiorum* y un 39 % por *S.minor*.

b,2) Invernáculo

Durante el mes de enero y primera quincena de febrero de 1995, se realizó una experiencia de solarización del suelo en una estructura de 20 x 25 m donde se venían realizando cultivos de hortalizas desde hacía varios años y donde los niveles de contaminación con hongos patógenos del suelo, alcanzó valores importantes, especialmente para *Sclerotinia sclerotiorum* en lechuga.

El suelo bien trabajado, se cubrió con un polietileno transparente de 50 micrones, "PLASTAR SAN LUIS", dejando dos parcelas desnudas como testigo.

Para comprobar el efecto de la energía solar sobre otros patógenos, se colocaron a 10 cm de profundidad en el suelo, trampas confeccionadas con una malla "PAO - PAO" conteniendo los hongos cultivados en agar papa glucosado al 2 %.

Los patógenos testados fueron: *Sclerotinia sclerotiorum*, *S.minor*, *Rhizoctonia solani* y *Sclerotium rolfsii*.

Se siguió un diseño estadístico en bloques al azar con 4 repeticiones y la prueba se realizó, tanto en las parcelas solarizadas, como en las testigo.

Después de colocado el polietileno, se regó hasta saturación, mediante riego por goteo, y se cerró herméticamente la estructura durante los 45 días que duró el experimento.

A los 45 días se desenterraron las trampas y se evaluó la viabilidad mediante ensayos "in vitro".

El 8 de mayo, se sembró, tanto en suelo solarizado como en el no solarizado, lechuga cv "FLORESTA", siguiendo un diseño de bloques al azar con 6 repeticiones en parcelas de 1,6 x 4 m. Se realizaron 2 raleos.

Como resultados podemos mencionar:

La diferencia de temperatura (promedio) entre parcela solarizada y no solarizada a 10 cm de profundidad fue de 5,8°C (Francescangelli, 1995).

Según los estudios de viabilidad, podemos comprobar, que todos los hongos enterrados en trampas en el suelo, murieron por efecto del calor, en las parcelas solarizadas, y que excepto *Sclerotium rolfsii*, murieron tanto en las parcelas testigo, como en las solarizadas, por efecto de las altas temperaturas producidas al cerrar las estructuras. Cuadro 4.

Cuadro 4. Efecto de la solarización del suelo sobre 4 patógenos enterrados a 10 cm de profundidad durante 45 días.

Hongos patógenos	Solarizado	No solarizado
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	-	-
<i>S.minor</i>	-	-
<i>Rhizoctonia solani</i>	-	- +
<i>Sclerotium rolfsii</i>	-	+

- = no viable

+ = viable

- + = solamente el 50 % de los aislamientos resultó viable.

En las parcelas solarizadas, se observaron muchas colonias de **Aspergillus**, mientras que en las no solarizadas, abundaba **Rhizopus**.

También se comprobó en este ensayo, que el potencial de inóculo para **Pythium spp.** tuvo una reducción del 100 %.

En el Cuadro 5 se indica el comportamiento de la solarización para el control de la caída o marchitamiento de la lechuga en invernáculo.

Cuadro 5. Efecto de la solarización del suelo sobre algunos parámetros de la producción de lechuga en invernáculo.

Parámetros	Porcentajes
Incremento en la emergencia	100,0
Control de Sclerotinia sclerotiorum	46,5
Incremento del rendimiento	36,8

Se constató que las plantas enfermas, estaban atacadas solamente por **Sclerotinia sclerotiorum**.

Las parcelas solarizadas, rindieron en promedio 30.828 kg/ha mientras que en las parcelas con suelo desnudo, el promedio fue de 22.531 kg/ha.

2. Podredumbres radiculares (*Rhizoctonia solani*)

a) Antecedentes

Tamietti y Garibaldi (1989), demostraron, reducciones de las poblaciones de **R.solani** por efecto de la solarización, en cultivos de poroto y albahaca, tanto a campo abierto como bajo invernáculo en el norte de Italia, con disminuciones de la enfermedad del 99 y 91 % para cada cultivo respectivamente.

También constataron, que el efecto de la solarización perduró por 4 siembras sucesivas de poroto en el mismo lote.

Triolo et al.(1989), controlaron satisfactoriamente el ataque de *R.solani* en lechuga bajo invernáculo, solarizando el suelo antes de la siembra. El peso medio de las plantas en las parcelas solarizadas fue un 30 % más alto que en las no solarizadas.

Vannacci et al.,(1987), demostraron mediante ensayos en invernáculo, que la solarización redujo significativamente la incidencia del damping-off del rabanito causado por *Rhizoctonia solani*.

b) Ensayos en la E.E.A.INTA de San Pedro.

El cultivo de la frutilla, suele ser afectado, desde el transplante y durante todo el ciclo del cultivo, por varios hongos patógenos del suelo, que causan la muerte parcial o total de las plantas. Entre todos ellos, *R.solani*, es generalmente el patógeno más representativo.

Para evaluar el efecto de la solarización, sobre los hongos del suelo, que causan enfermedades radiculares en frutilla, se realizaron durante los años 1992 y 1993, ensayos a campo utilizando el cv. CHANDLER.

La solarización, se realizó sobre los lomos, usando polietileno transparente de 50 micrones PLASTAR SAN LUIS, durante el mes de enero y primera quincena de febrero.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Sobre la tierra solarizada se constató, mejor sanidad de las plantas, mayor desarrollo de las mismas e incrementos en los rendimientos, Cuadro 6.

Cuadro 6. Efecto de la solarización en lomos, sobre los parámetros de la producción de frutilla.

Parámetros	1992	1993
Incrementos en arraigue de los plantines %	5,07	8,87
Incrementos de plantas sanas a la cosecha %	5,77	6,82
Incrementos en rendimiento en fruta %	15,09	24,15

La densidad de inóculo de algunos geopatógenos, disminuyó significativamente por efecto de la solarización del suelo, destinado a la producción de frutilla. mientras que, se constataron aumentos, en las poblaciones de especies termotolerantes, Cuadro 7.

Cuadro 7. Efecto de la solarización del suelo sobre la densidad de inóculo.

Microorganismo	Antes de la solarización	Después de la solarización
<i>Phytophthora</i> spp	9.200	1.390
<i>Verticillium</i> spp.	12.970	9.740
<i>Pythium</i> spp.	9.200	1.860
<i>Rhizoctonia solani</i>	4.600	0
<i>Trichoderma</i> spp.	18.600	32.400
<i>Fusarium solani</i>	32.400	0
<i>Fusarium moliniforme</i>	60.200	9.200
<i>Fusarium oxysporum</i>	0	4.600
<i>Geotrichum candidum</i>	23.200	0
<i>Sordaria fumicola</i>	0	4.600
<i>Aspergillus niger</i>	0	9.300
<i>Myrothecium verrucaria</i>	0	4.600

CFU por gramo de suelo.

MUERTE DE LAS PLANTULAS (damping-off)

Es una enfermedad de las plántulas, pero puede atacar a las semillas durante la germinación, a las plántulas, tanto antes como después de la emergencia y a las plantas después del transplante.

Las plántulas recién emergidas, son particularmente sensibles, a medida que crecen y la cutícula se hace más gruesa, las plantitas adquieren cierta resistencia a la enfermedad. Es una patología típica de los almácigos, pero también puede atacar la producción de plantines en sppedling o en macetitas individuales.

Varios hongos patógenos del suelo, resultan involucrados en la etiología de esta enfermedad y el predominio de cada uno de ellos depende de las condiciones climáticas.

Con suelos fríos y húmedos, exceso de riego, poca luminosidad, escasa ventilación, son frecuentes los ataques de **Pythium spp.** y **Phytophthora spp.** mientras que con suelos secos, son particularmente activos, **Rhizoctonia solani**, **Sclerotium rolfsii**, **Fusarium solani**.

La producción de plantines de solanáceas requiere el empleo de sustratos sanos (desinfectados) y para ello se debe eliminar la micoflora patógena del suelo.

La solarización es una nueva alternativa, con la cual se obtuvieron resultados satisfactorios (Mitidieri y Mitidieri, 1995).

a) Ensayos en la E.E.A. INTA de San Pedro.

En ensayos realizados en la E.E.A. INTA de San Pedro, se comprobó que la solarización, resultó efectiva para la desinfección del sustrato usado en la producción de plantines de tomate y pimiento ya sea en almacigueras o sobre chapas, para la producción de plantines en macetitas y speedlings.

Cuando se usaron chapas plásticas, se colocó sobre ellas una mezcla de tierra y turba y hasta una altura de 15 cm. Se regó hasta saturación y luego se cubrió con una película de polietileno transparente de 40 micrones de espesor.

Con esta técnica, tanto en almácigo como en macetitas, se obtuvieron en menor tiempo, plantines más fuertes y vigorosos con mayor desarrollo aéreo y radicular.

La emergencia fué más rápida, con menos fallas de germinación y menores pérdidas por damping-off, tanto de pre como de pos emergencia.

También se constató menos ataques de damping-off de pos transplante.

La solarización del sustrato es un método económico, práctico, de bajo impacto ambiental y efectivo para la obtención de plantines.

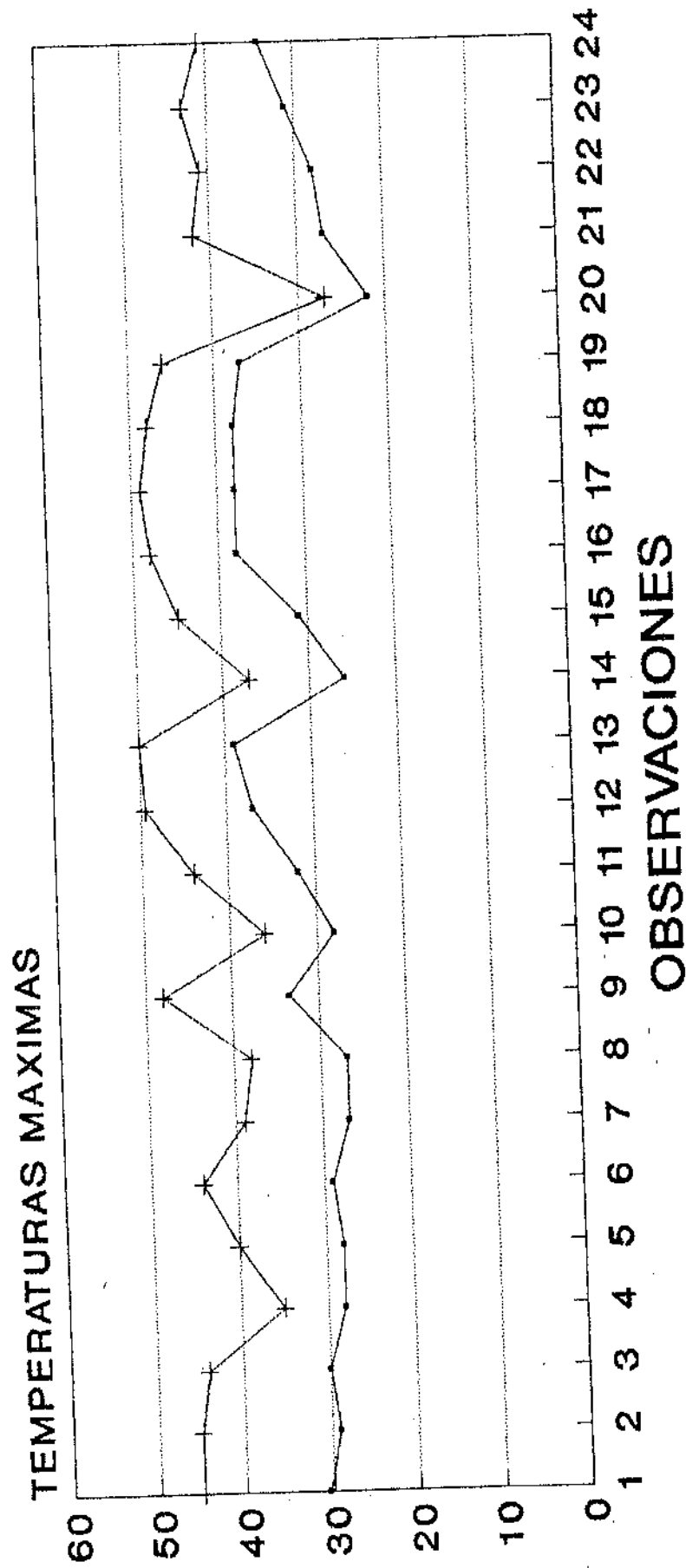
MARCHITAMIENTO DEL MELON (*Fusarium oxysporum* f sp melonis)

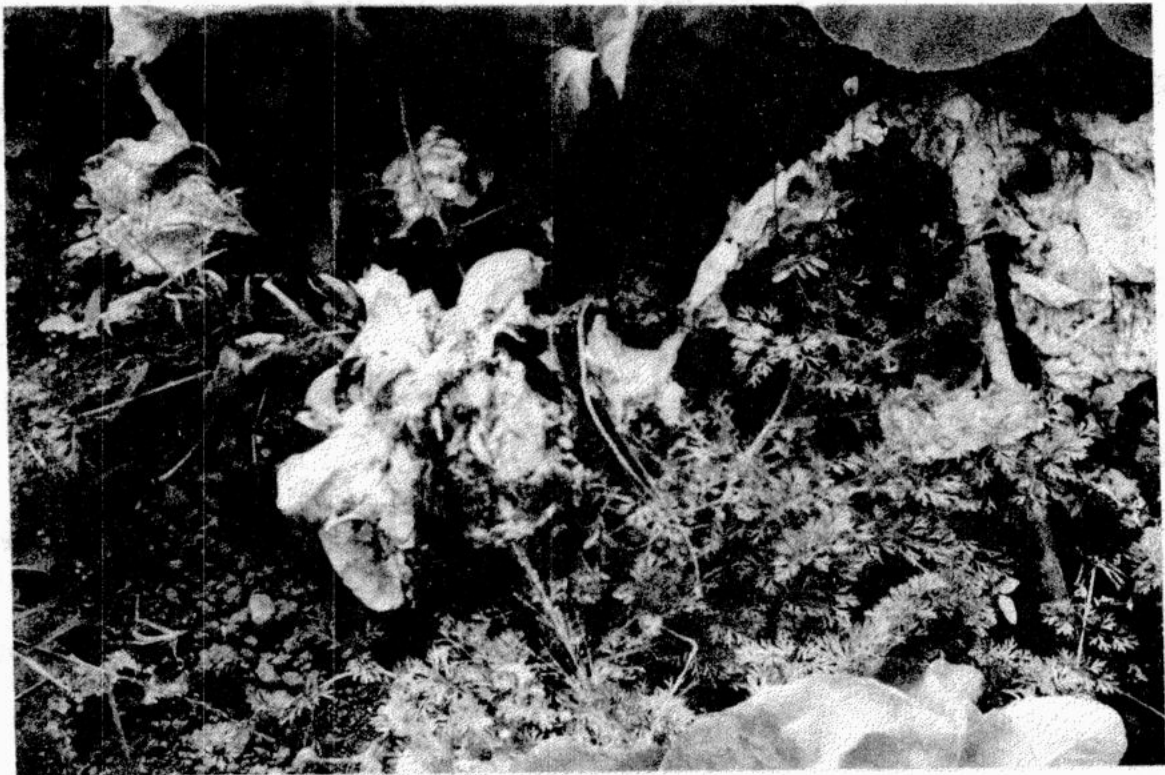
Vannacci et al. (1993), realizaron experiencias durante 1989, 1990 y 1991 de solarización en invernáculo y constataron reducciones significativas del potencial de inóculo de ***Fusarium oxysporum* f.sp. melonis** y la mortandad de plantas. La eficacia de la solarización no difirió estadísticamente del testigo químico (Dazomet 25 y 50 gr/m²).

PODREDUMBRE DEL CUELLO DEL AJO (*Sclerotium cepivorum*).

Basallote-Ureba y Melero-Vara (1993), redujeron significativamente el ataque de ***Sclerotium cepivorum*** en ajo en los primeros 20 cm del suelo y después de 8 y 11 semanas de solarización a campo.

TEMPERATURAS MAXIMAS 8 cm





LECHUGA SOBRE SUELO SIN SOLARIZAR
ATAQUE DE *Sclerotinia sclerotiorum*



LECHUGA SOBRE SUELO SOLARIZADO

CULTIVO DE LECHUGA



PARCELA SIN SOLARIZAR



PARCELA SOLARIZADA



SUELO SOLARIZADO



PLANTINES DE PIMIENTO EN SUELO SOLARIZADO

BIBLIOGRAFIA

ABDEL-RAHIM, M. F. ; SATOUR, M. M. ; MICKAIL, K. Y. ; EL-ERAKI S. A. ; GRINSTEIN, A. ; CHEN, Y. and KATAN, J., 1988. Effectiveness of soil solarization in furrow-irrigated Egyptian soils. Plant Disease 72: 143-146.

BASALLOTE-UREBA, M. J. and MELERO-VARA, J. M. 1993. Control of garlic white rot by soil solarization. Crop Protection 12: 219-223.

CARTIA, G. ; CIPRIANO, T. e QUARTARONE, G. 1987. Impiego della solarizzazione del suolo e di fumiganti nei confronti di parassiti ipogei della carota in Sicilia. Informatore Fitopatologico 37 (1): 43-46.

GARIBALDI, A. ; BOZZANO, G. e LONGONI, V. 1989. Prime applicazioni in pratica della solarizzazione nelle serre dell' albenganese. L'Informatore Agrario - Verona XLV (44): 61 - 63.

GAMLIEL, A. and KATAN, J. 1992. Influence of seed and root exudates on fluorescent Pseudomonas and fungi in solarized soil. Phytopathology 82: 320 - 327.

GAMLIEL, A. and KATAN, J. 1992. Chemotaxis of fluorescent Pseudomonas toward seed exudates and germinating seeds in solarized soil. Phytopathology 82: 328 - 332.

GREENBERGER, A. ; YOGEV, A. and KATAN, J. 1987. Induced suppressiveness in solarized soils. Phytopathology 77: 1663 - 1667.

GRINSTEIN, A. ; KRITZMAN, G. ; HETZRONI, A. ; GAMLIEL, A. ; MOR, M. and KATAN, J. 1995. The border effect of soil solarization. Crop Protection 14 (4) : 315-320.

HARDY, G. E. ; SIVASITHAMPARAM, S. T., 1983. Soil solarization : effects on *Fusarium* wilt of carnation and *Verticillium* wilt of eggplant in: Ecology and Management of soilborne Plant Pathogens APS 358 pp.

JARVIS, W. R. 1992. Managing Diseases in Greenhouse Crops. A.P.S. Press 288 pp.

KATAN, J. ; GREENBERGER, A. ; ALON, H. and GRINSTEIN, A. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens. Phytopathology, 76: 683-688.

KATAN, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Ann.Rev.Phytopathol.* 19: 211-236.

KATAN, J. FISHER, G. and GRINSTEIN. 1983. Short and long term effects of soil solarization and crop sequence on **Fusarium** wilt and yield of cotton in Israel. *Phytopathology* 73(8): 1215-1219.

KATAN, J. 1985. Solar Disinfestation of soils, in *Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens*. A.P.S. 358 pp.

KATAN, J. 1987. Soil solarization. en CHET, I. 1987. *Innovative Approaches to Plant Diseases Control*. Wiley - Interscience Publication, 372 pp.

LUDHA SATISH, 1995. Soil solarization, summer irrigation and amendments for the control of **Fusarium oxysporum f sp. cumini** and **Macrophomina phaseolina** in arid soils. *Crop Protection* 14 (3): 215-219.

MATERAZZI, A.; TRIOLO, E.; VANNACCI, G. E SCARAMUZZI, G. 1987. Impiego della solarizzazione del terreno per il controllo del "marciume del colletto " lattuga in serra. *Culture Protette*, XVI (10): 51-54.

MATERAZZI, A.; IANDOLO, R.; TRIOLO, E. e VANNACCI. 1987. La solarizzazione del terreno. Un mezzo di lotta contro il marciume del colletto della lattuga. *L'Informatore Agrario Verona* XLIII (28): 97-99.

MITIDIERI, I. Z. M. de; MITIDIERI, A. y AMMA, A. 1993. Efecto de la solarización del suelo en el control de la podredumbre del cuello de la lechuga (**Sclerotinia sclerotiorum** y **S. minor**), de las malezas y en las condiciones edáficas. Resúmenes XVI Congreso Argentino de Horticultura de Corrientes.

MITIDIERI, I. Z. M. DE Y MITIDIERI, M. 1994. Efecto de la geodesinfección sobre la producción de plantines de tomate en invernáculo. *Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale* 88 (3) : 539-545.

PULLMAN, G. S.; DE VAY, J. E. and GARBER, R. H. 1981. Soil solarization and thermal death: A logarithmic relationship between time and temperature for soilborne plant pathogens. *Phytopathology*, 71: 959-964.

PULMAN, G. S.; DE VAY, J. E.; GARBER, R. H. and WEINHOLD, A. R. 1981. Soil solarization: Effects on **Verticillium** wilt of cotton and soilborne populations of **Verticillium dahliae**, **Pythium spp.**, **Rhizoctonia solani** and **Thielaviopsis basicola**. *Phytopathology* 71: 954-959.

TAMIETTI, G. y GARIBALDI, A. 1987. Effectiveness of soil solarization against **Rhizoctonia solani** in northern Italy. Proceeding of the CEC/IOBC Group Meeting Cabrils 27-29 May 1987.

TAMIETTI, G. y GARIBALDI, A. 1989. Impiego de la pacciamatura riscaldante contro **Rhizoctonia solani** nelle condizioni di coltura protetta in Liguria. Informatore Fitopatologico 5: 43-45.

TRIOLO, E.; VANNACCI, G. y Scaramuzzi, G. 1985. Possibilita di applicazione della solarizzazione del terreno in Italia. Indagini sul binomio Lattuga **Sclerotinia minor** Jagger. La Difesa delle Piante 8(2): 127-138.

TRIOLO, E.; VANNACCI, G. y MATERAZZI, A. 1988. La solarizzazione del terreno in orticoltura. 2. Alcune indagini sui possibili meccanismi d'azione. Colture Protette XVII (7): 59-62.

TRIOLO, E.; VANNACCI, G.; y MATERAZZI, A. 1989. La solarizzazione del terreno in orticoltura. 3. Efficacia nei confronti di **Rhizoctonia solani** Kuhn in pieno campo. La difesa delle piante, 12 (1-2) , 289-296).

VANNACCI, G.; MATERAZZI, A. y TRIOLO, E. 1987. Effects of solar heating on soilborne **Rhizoctonia solani** Kuhn in greenhouses. Seventh Congress of the Mediterranean. Phytopathological Union. Setiembre 20-28 Granada, España.

VANNACCI, G.; TRIOLO, E. y MATERAZZI, A. 1988. Survival of **Sclerotinia minor** Jagger, sclerotia in solarized soil. Plant and soil, 109: 49-55.

VANNACCI, G.; PANATTONI, A.; MATERAZZI, A. y TRIOLO, E. 1993. Esperienze di solarizzazione del terreno per la lotta contro **Fusarium oxysporum f sp. melonis** in coltura protetta, Colture Protette 1 Supplemento 69-72.

EFFECTO DE HERBICIDAS

Ing. Agr. Agustín Mitidieri

EFFECTO DE LA SOLARIZACION EN EL CONTROL DE LAS MALEZAS

Agustín Mitidieri y Armando Constantino*

La técnica de la solarización (cubrir suelo húmedo con plástico transparente para aumentar la temperatura) fue desarrollada para el control de hongos de suelo. Pronto se observó que también se producía una reducción muy importante de la infestación de muchas malezas (KATAN, 1987).

La solarización produce un calentamiento del suelo que se traduce en un aumento de la temperatura en las capas superiores de 10°C o más respecto de la del suelo no solarizado alcanzándose valores de 50°C o más. RUBIN y BENJAMIN (1983), registraron valores de aumento de 10 a 18°C, alcanzando temperaturas máximas de 53 y 56°C en dos localidades distintas. MITIDIERI y CONSTANTINO (1995) obtuvieron temperaturas de 48 a 52°C a 5 cm de profundidad en suelo arcillo-franco-limoso solarizado a fines de enero (Gráficos 1 y 2).

El efecto de la solarización en el manejo de las malezas puede ser de dos clases: a) cambios en las poblaciones de malezas (generalmente en forma de reducción de la infestación, principalmente de malezas anuales), y b) interacción con los herbicidas ya sea en forma de sinergismo, antagonismo o efecto aditivo, ya sea en forma de cambios en la residualidad.

El control de malezas se produce por acción de algunos de los siguientes mecanismos: 1) muerte de las semillas por acción de la temperatura, 2) muerte de las plántulas de semillas inducidas a germinar por la humedad y la temperatura, 3) ruptura de la dormición y posterior germinación y muerte de las plántulas resultantes, 4) debilitamiento de las plántulas y muerte posterior por agentes bióticos u otros mecanismos, 5) producción de sustancias volátiles que pueden tener acción deletéreas sobre las malezas (alelopatía).

El efecto de la solarización sobre las malezas depende de varios factores; a saber: 1) especies y tipo de malezas, 2) tiempo de solarización, 3) grado de insolación, 4) época del año, 5) intervalo desde la solarización, 6) temperatura que se alcanza durante la solarización, 7) tipo de plástico, 8) tipo de suelo y 9) distribución de las semillas en el perfil del suelo.

Generalmente las especies anuales y de semillas pequeñas son más sensibles y son más afectadas que las especies perennes (sorgo de Alepo, cebollín, gramón, etc.). Por otra parte las especies de semillas grandes (abrojo, abrojillo) que pueden germinar de mayor profundidad y las especies de semillas duras (malváceas y leguminosas) son más difíciles de controlar. MITIDIERI y CONSTANTINO (1995) observaron entre las especies sensibles a: yuyo colorado (*Amaranthus quitensis*), quínoa

* Técnicos de la Est. Exp. Agrop. de San Pedro (INTA)

(*Chenopodium album*), verdolaga (*Portulaca oleracea*), albahaca silvestre (*Galinsoga parviflora*), capín (*Echinochloa colonum*), pasto cuaresma (*Digitaria sanguinalis*), pasto bandera (*Brachiaria extensa*), pata de ganso (*Eleusine indica*), mastuerzo (*Coronopus didymus*), cótula (*Cotula australis*), apio silvestre (*Apium leptophyllum*), pasto de invierno (*Poa annua*).

Las especies perennes son menos afectadas porque sus órganos vegetativos de multiplicación pueden brotar de mayor profundidad (10 a 20 cm), donde la solarización no llega eficazmente (Gráfico 8). En parte se corrige aumentando el tiempo de solarización como hallaron RUBIN y BENJAMIN (1983) y se puede constatar en el Gráfico 5.

La duración del efecto sobre las malezas depende del tiempo que dura la solarización. RUBIN y BENJAMIN (1983) encontraron que a los 6 meses de la solarización el control disminuye notablemente cuando se solarizó por 5 semanas, siendo superior significativamente cuando el proceso se extendió por 10 semanas (Gráfico 3) pero no en todos los casos (Gráfico 4). La duración de la solarización afectó el control de perennes como ya se mencionó.

El grado de insolación (ausencia de nubosidad) incide en el calentamiento. El efecto global de la solarización depende de componentes: la temperatura y la duración del proceso. Determinado efecto biológico (determinado nivel de control de una maleza) es función del producto de la temperatura por su duración. Este valor es constante para cada efecto biológico de manera que al aumentar la temperatura disminuye el tiempo de exposición y viceversa.

La época del año incide en el grado de solarización. Los meses de verano, cuando se alcanzan las más altas temperaturas, son las más indicadas para esta práctica (segunda quincena de diciembre, meses de enero y febrero y primera quincena de marzo). RUBIN y BENJAMIN (1983) encontraron diferencias muy importantes entre la solarización efectuada en verano y la realizada en otoño (Gráficos 6 y 7). También observaron una interacción entre época de la solarización y el tipo de plástico; mientras que en verano el plástico transparente fue más eficaz en el control de malezas, curiosamente en otoño, el polietileno negro dio mejores resultados.

En dos ensayos realizados a campo en la Est. Exp. Agrop. de San Pedro (INTA) durante 1994 y 1995 para evaluar el efecto de la solarización del suelo en el control de malezas para un cultivo tardío de zapallito redondo de tronco, MITIDIERI y CONSTANTINO (1995) encontraron que se obtenía buen control de malezas en las parcelas solarizadas (salvo capín) y rendimiento superior al del testigo carpido y al de los tratamientos con herbicidas. En el Gráfico 8 se consignan los rendimientos del zapallito de tronco. Como se puede observar las parcelas solarizadas en combinación con clomazone dieron los mayores rendimientos, especialmente en las cosechas tempranas.

Para determinar el efecto sobre la residualidad de los herbicidas, al finalizar la cosecha del zapallito se trabajó el suelo y se sembró trigo (especie susceptible a los residuos del clomazone). En ambos ensayos se comprobó que la residualidad aumentaba en las parcelas solarizadas. Este resultado se confirmó en el ensayo realizado en 1995.

En el **Gráfico 9** se presentan los resultados del bioensayo con trigo medidos por la intensidad de la clorosis producida por los residuos de clomazone. Si se comparan los resultados con las diferentes dosis de clomazone se puede observar que con la dosis de 40 g/ha en suelo no solarizado la residualidad en trigo se elimina a los 63 días y con la dosis de 60 g/ha fue necesario 117 días, mientras que en suelo solarizado el efecto residual era aún elevado a los 117 días y con la dosis menor.

RUBIN y BENJAMIN (1983) hallaron que la solarización reducía la residualidad de EPTC, no afectaba a bromacil y aumentaba el efecto residual de fluridone. Curiosamente, tanto fluridone como clomazone tienen como modo de acción la inhibición de la síntesis de pigmentos. Es de suponer que la solarización afecta los microorganismos que intervienen en la degradación de estos herbicidas.

En un ensayo de solarización efectuado por las secciones de horticultura y fitopatología de la Est. Expl. Agrop. del INTA de San Pedro, en invernáculo en el mes de enero, se obtuvo un excelente control de malezas anuales de verano en evaluaciones a los 20 y 75 días, que se mantenía aún a los 5 meses y en especies de invierno cuyas semillas habrían sufrido algún cambio fisiológico que las hizo vulnerables a las acciones de la solarización (ruptura de la dormición u otro efecto). Los resultados se presentan en los **Cuadros 1 y 2**.

En un ensayo de solarización de tierra por la Sección fitopatología para la cría de plantines de tomate y pimiento, también se obtuvo excelente control de malezas, tal como se puede observar en el **Cuadro 3**.

Se puede concluir que la solarización del suelo efectuada tanto a campo como en invernáculo, además de los efectos sobre los patógenos y la fertilidad del suelo, produce una importante reducción de las poblaciones de malezas anuales.

Por otra parte, se registró un aumento de la residualidad del herbicida clomazone usado en combinación con la solarización posiblemente a consecuencia de la reducción de la acción de degradación microbiana del herbicida al ser afectados por la solarización los microorganismos respectivos.

Gráfico 1. Curso de la temperatura en suelo solarizado a 5 cm de profundidad y en comparación con la temperatura del aire a 1,5 m en casilla meteorológica, a los 3 días de la iniciación de la solarización, MITIDIERI y CONSTANTINO (1995).

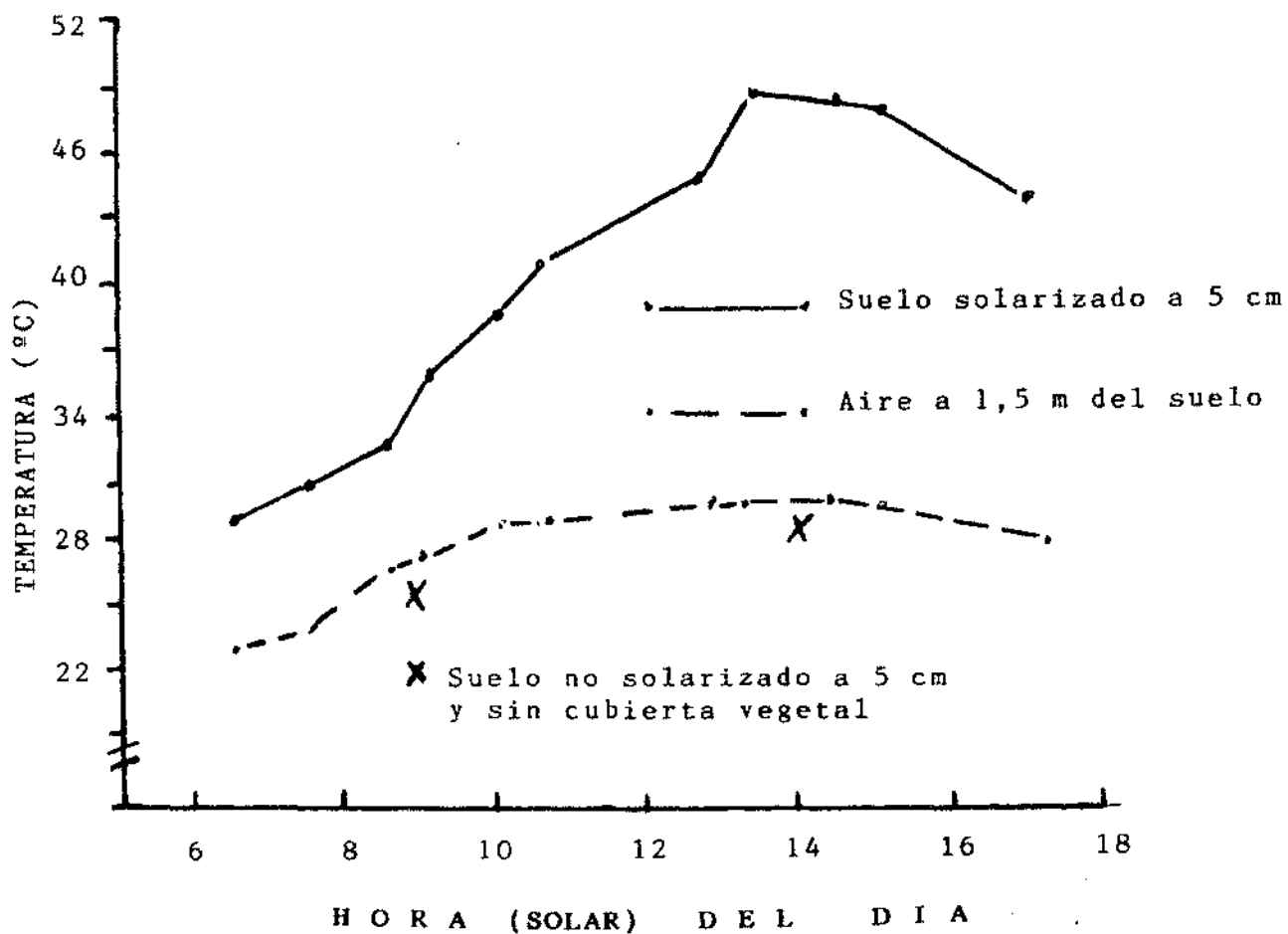


Gráfico 2. Curso de la temperatura en suelo solarizado a 5 cm de profundidad y en comparación con la temperatura del aire a 1,5 m en casilla meteorológica, a los 4 días de la iniciación de la solarización (MITIDIERI y CONSTANTINO, 1995).

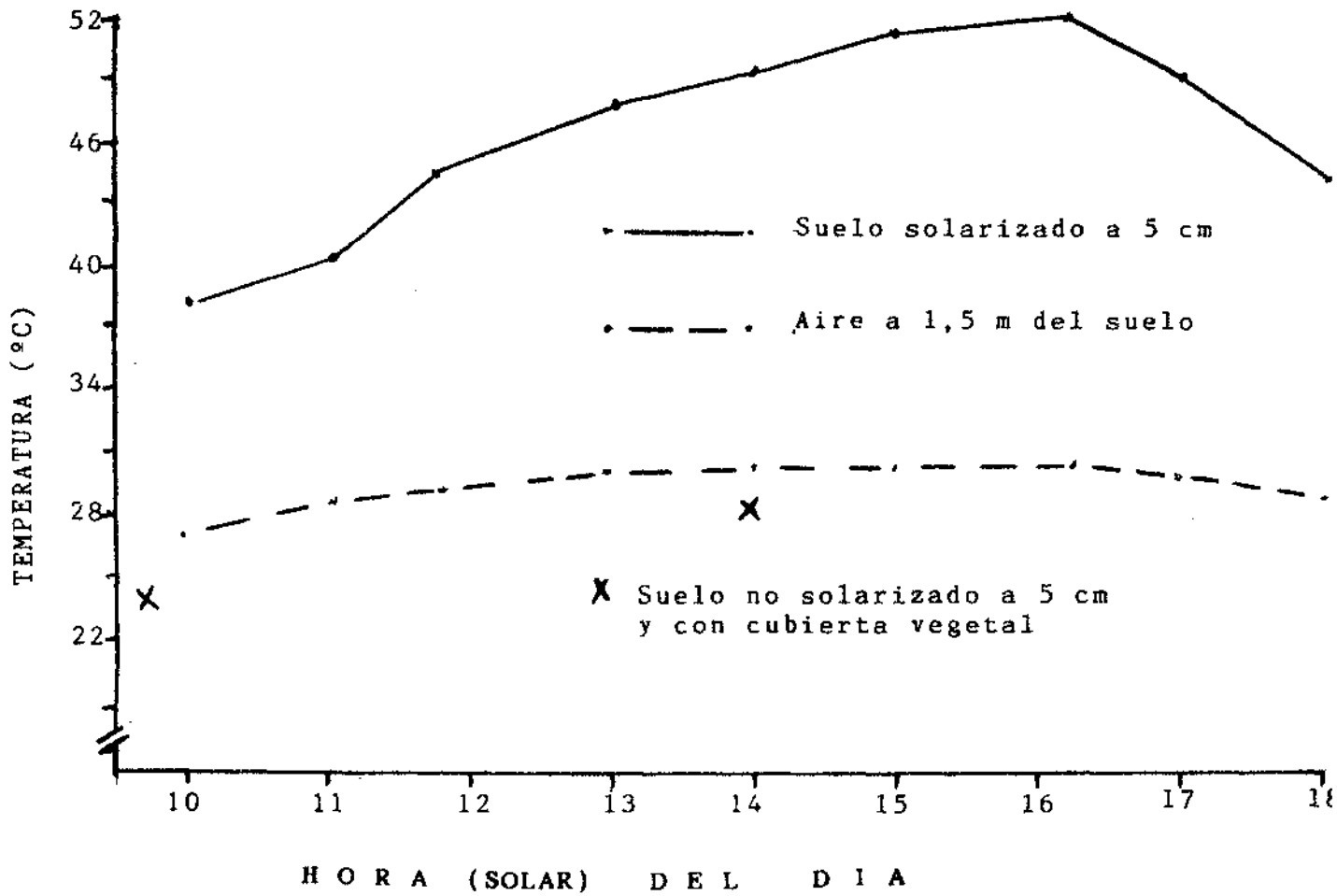


Gráfico 3. Efecto del tiempo de solarización y del intervalo desde levantado el plástico en el control de malezas anuales en experimento realizado en la localidad de Berurim, Israel (RUBIN y BENJAMIN, 1983).

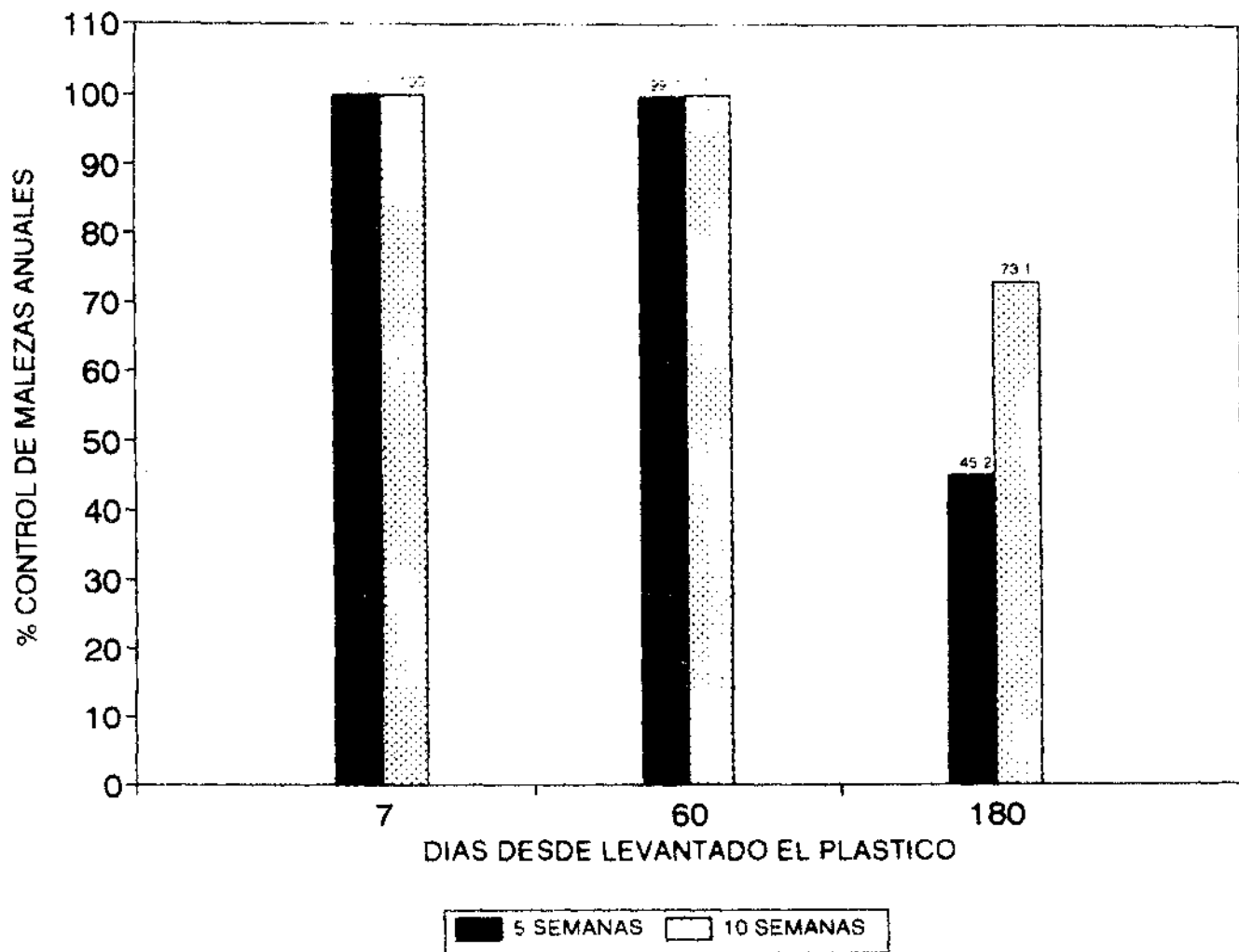


Gráfico 4. Efecto del tiempo de solarización y del intervalo desde levantado el plástico en el control de malezas anuales en experimento realizado en la localidad de Rehovot, Israel (RUBIN y BENJAMIN, 1983).

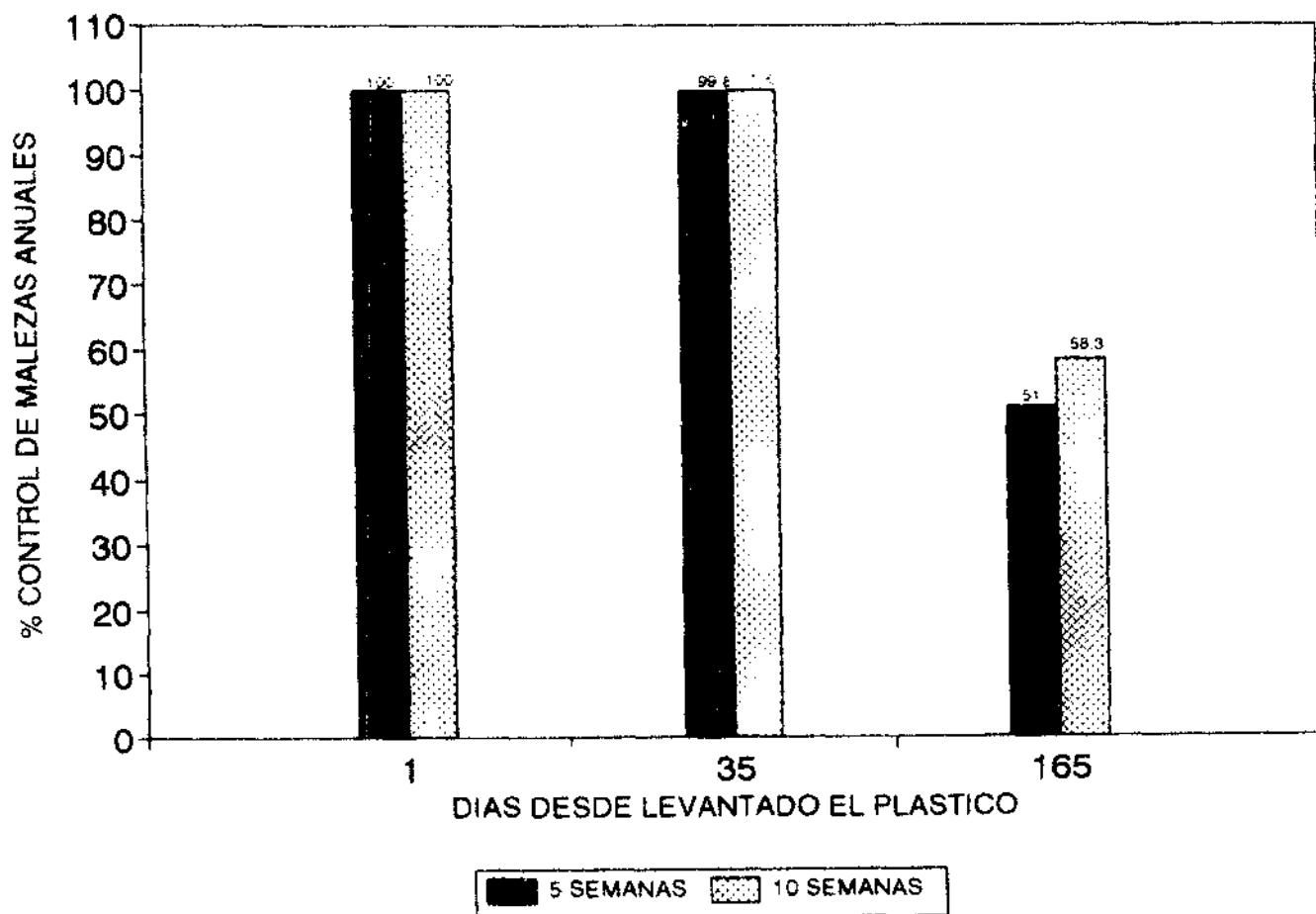


Gráfico 5. Efecto del tiempo de solarización y del intervalo desde levantado el plástico en el control de malezas perennes (RUBIN y BENJAMIN, 1983)

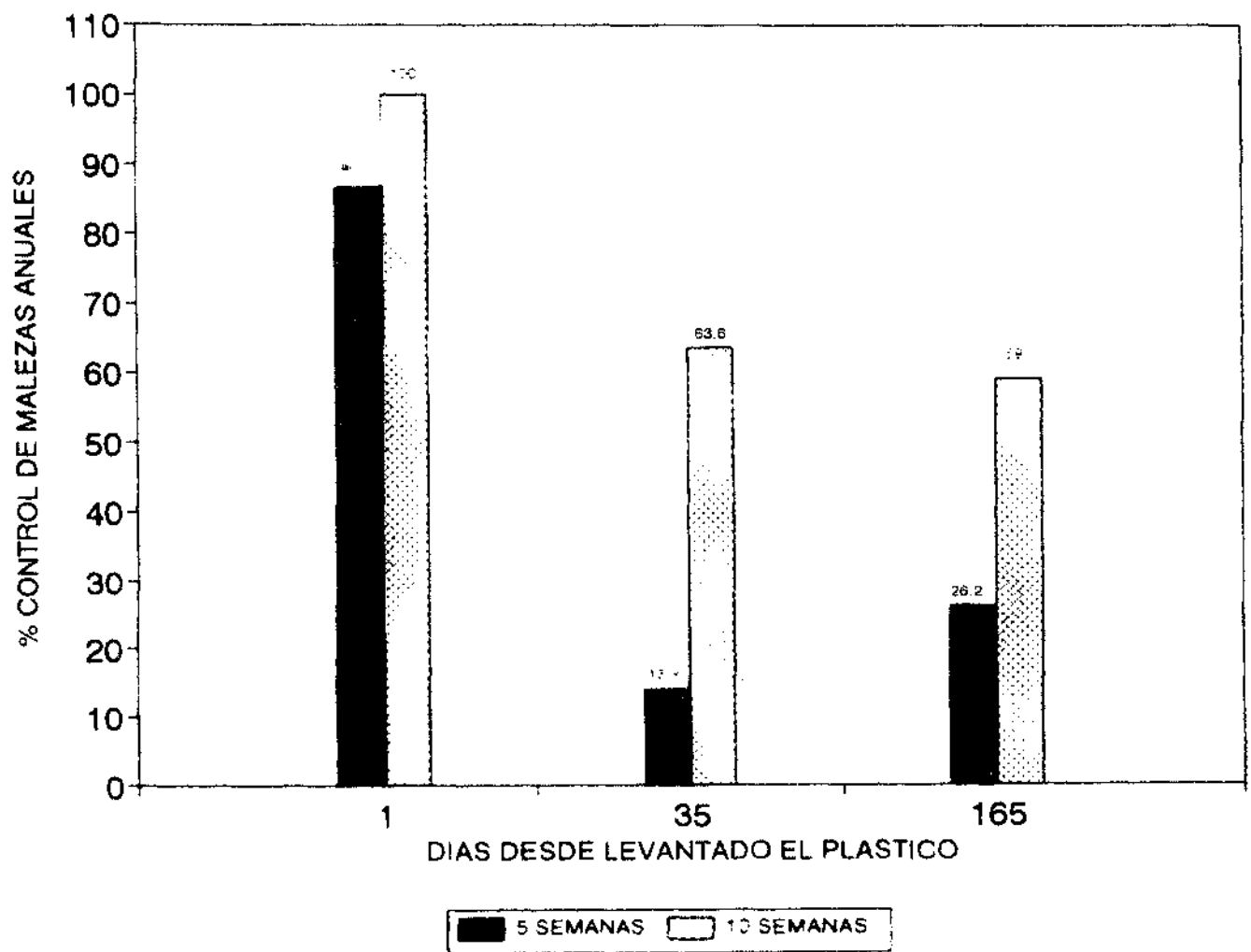


Gráfico 6. Efecto del tipo de plástico y de la época para la solarización en el control de malezas anuales. Solarización en verano (corresponde a enero-febrero), RUBIN y BENJAMIN, 1983.

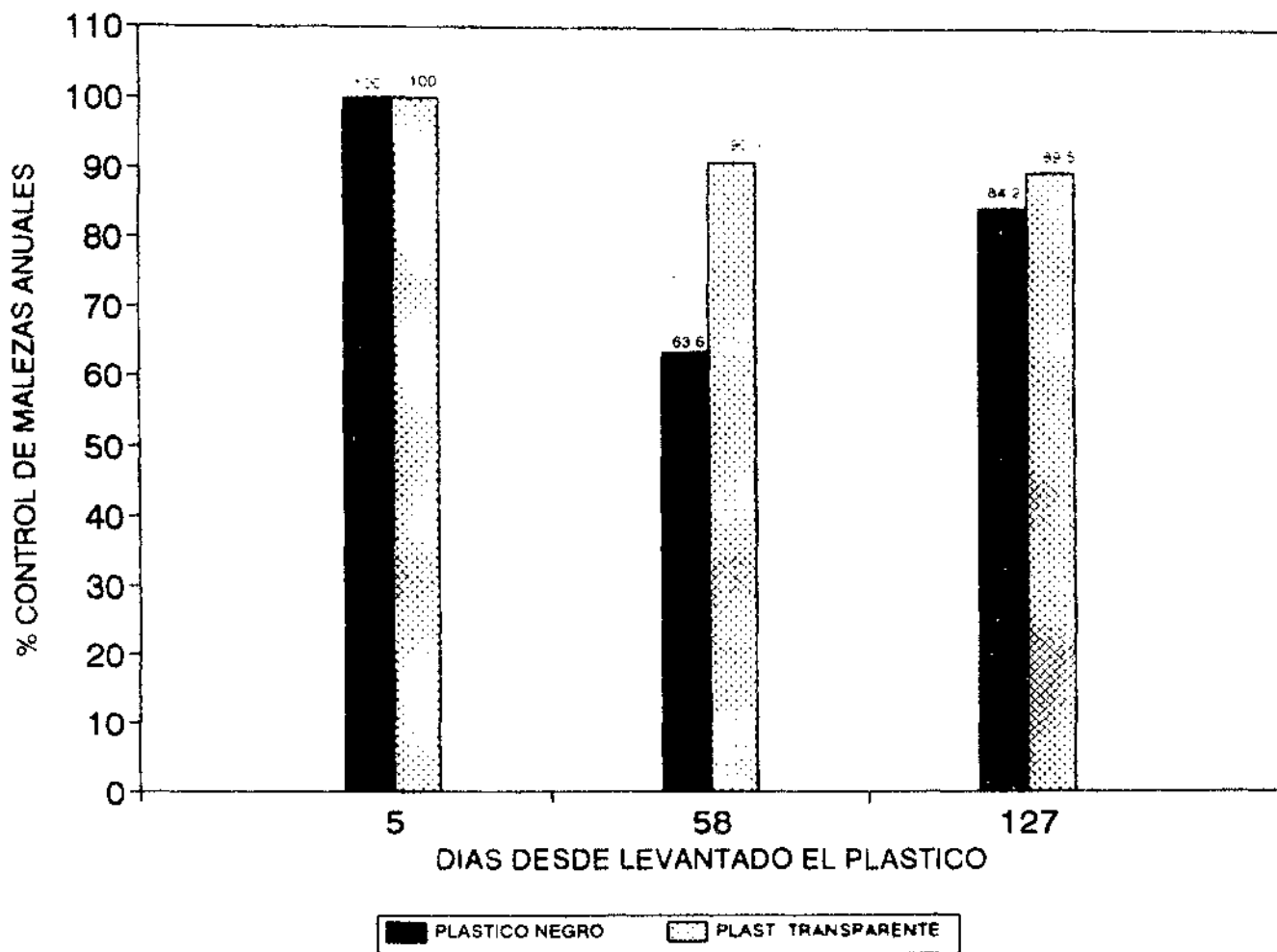


Gráfico 7. Efecto del tipo de plástico y de la época para la solarización en el control de malezas anuales. Solarización en otoño (corresponde a marzo-abril), RUBIN y BENJAMIN, 1983.

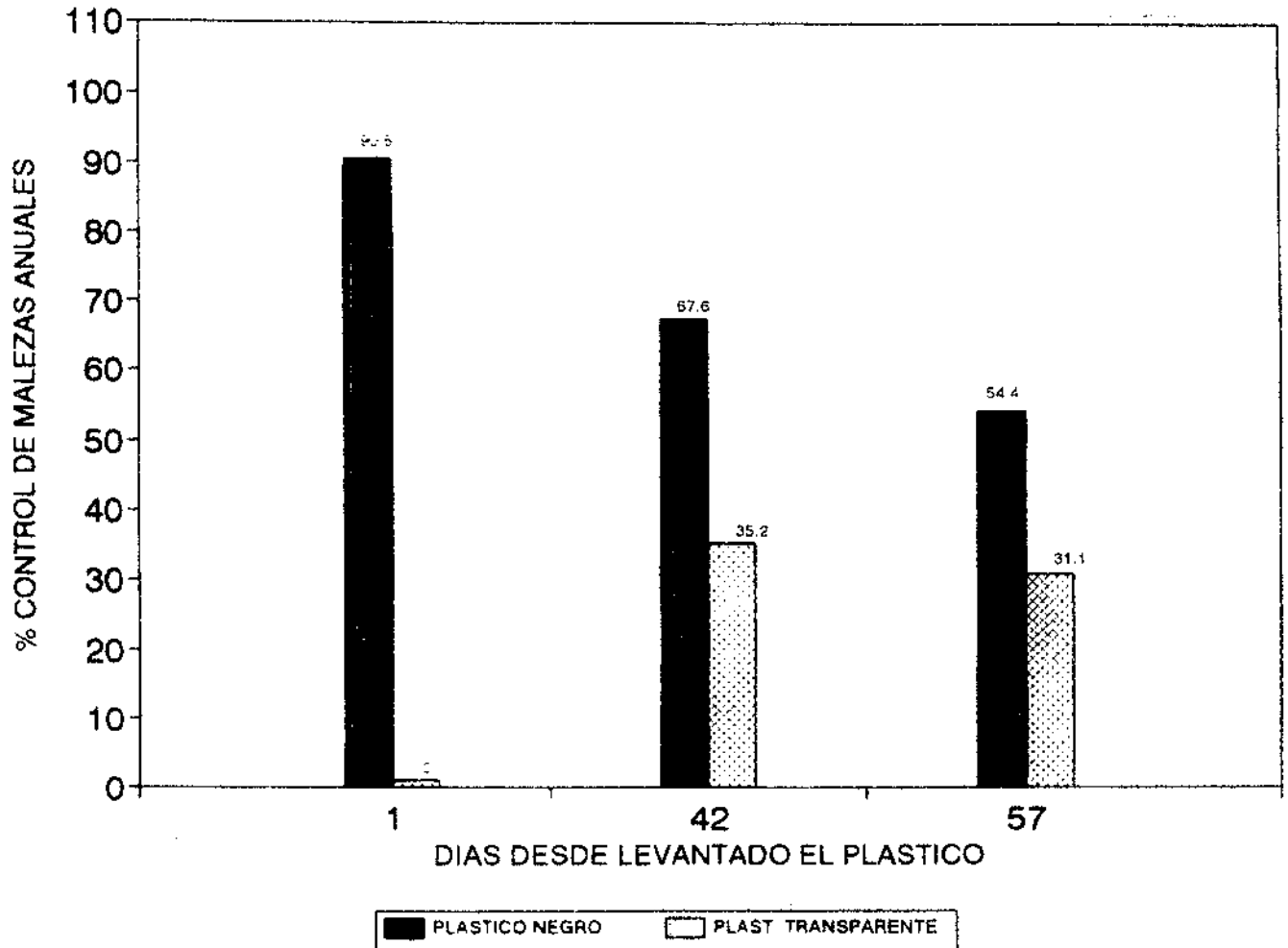


Gráfico 8. Rendimiento de zapallito de tronco en ensayo de solarización en combinación con el herbicida clomazone. Los valores son promedios de 4 repeticiones.

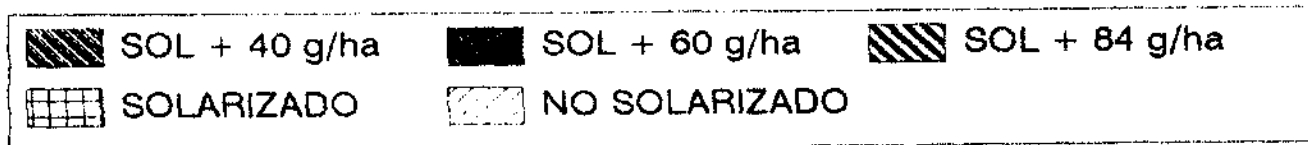
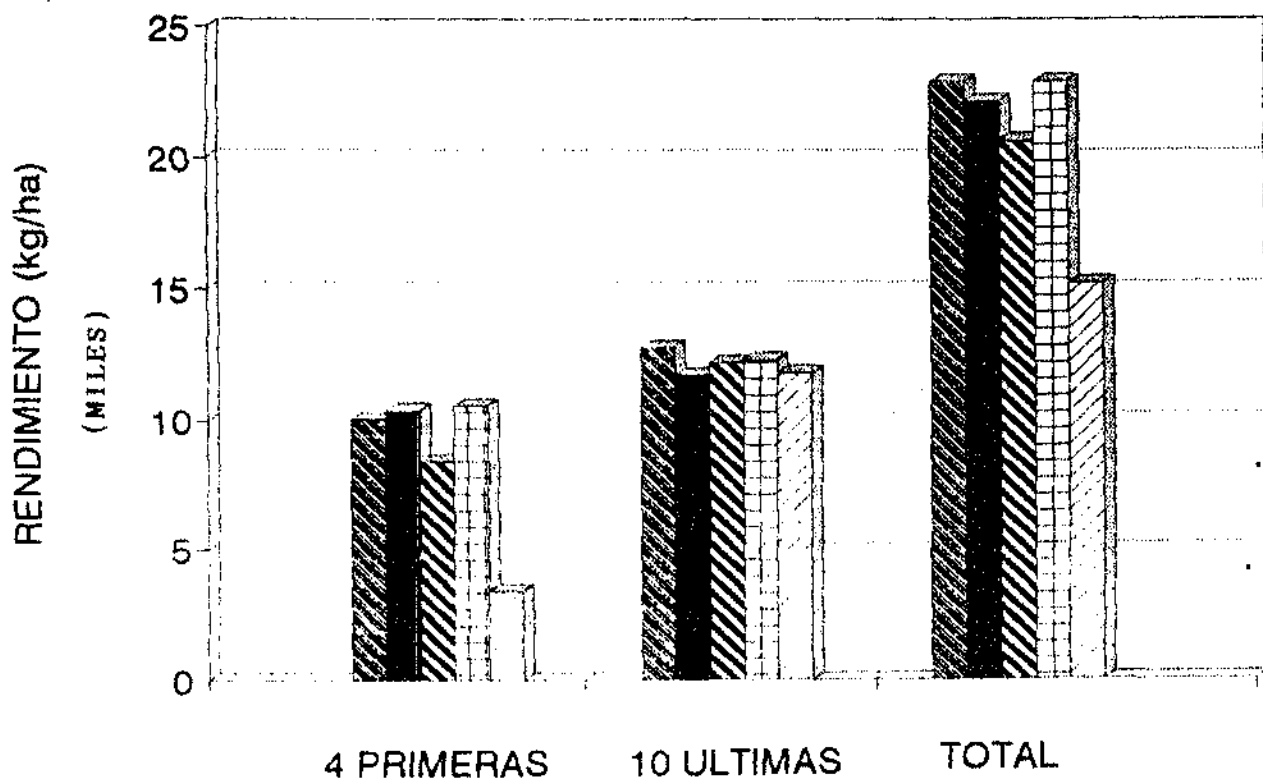
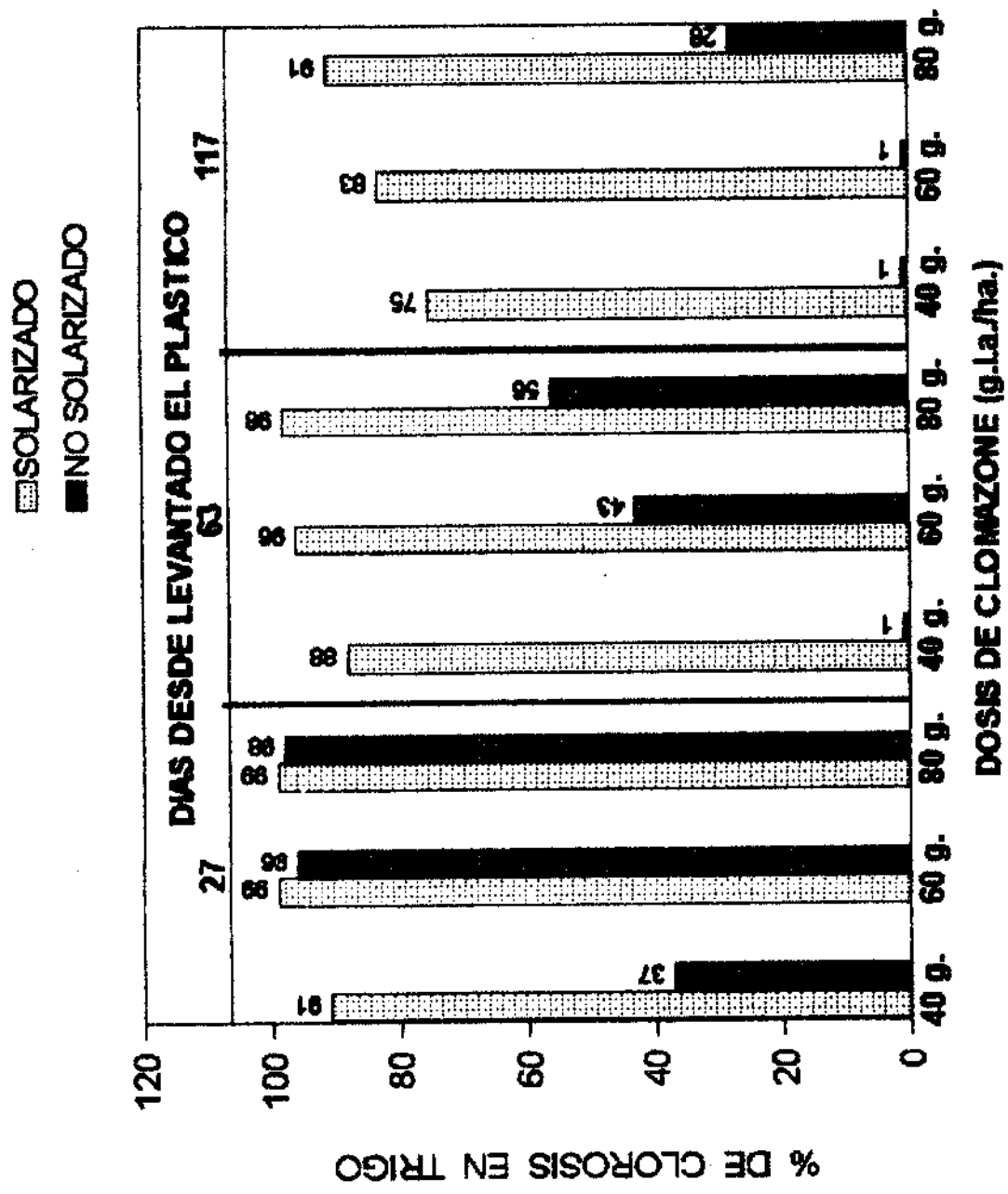


Gráfico 9 . Efecto de la solarización y del intervalo desde levantado el plástico en la residualidad de clomazone medido por el porcentaje de clorosis en trigo. Los valores son promedios de 4 repeticiones. (MITIENERI y CONSTANTINO, 1995).



Cuadro 1. Efecto de la solarización en la población de malezas, en observaciones a los 20 y 75 días de levantado el plástico. Los valores son promedios de 4 muestras tomadas al azar.

MALEZA	PLANTAS/m ²			
	SOLARIZADO		NO SOLARIZADO	
	A LOS 20 DIAS	A LOS 75 DIAS	A LOS 20 DIAS	A LOS 75 DIAS
VERDOLAGA	0	0	275	10
CAPIN	0	0	133	10
YUYO COLORADO	0	0	65	313
PATA DE GANSO	0	0	35	30
PASTO BANDERA	0	0	35	0
PASTO CUARESMA	0	0	15	17

Cuadro 2. Efecto de la solarización en la población de malezas a los 150 días de levantado el plástico. Los valores son promedios de 8 muestras tomadas al azar.

MALEZA	SOLARIZADO	NO SOLARIZADO
QUINOA	0	75
APIO SILVESTRE	0	70
MASTUERZO	0	68
COTULA	0	20
ALBAHACA SILVESTRE	0	20
RAMA NEGRA	0	93

Cuadro 3. Efecto de la solarización en la población de malezas en tierra destinada a la cría de plantines de tomate y pimiento. Los valores son promedios de 4 repeticiones.

a) EN ALMACIGOS DE TOMATE

MALEZAS	PLANTAS/m ²		
	SOLARIZADO	NO SOLARIZADO	CONTROL (%)
Pasto de invierno	62	1994	96,9
Capín colorado	0	338	100,0
Mastuerzo	0	256	100,0
Bolsa del pastor	0	188	100,0
Lengua de vaca	12	125	91,4
Capiquí	0	44	100,0
Verdolaga	0	38	100,0
Cotula	0	38	100,0
Quínoa	0	25	100,0
Yuyo colorado	0	19	100,0
Sanguinaria	0	13	100,0

b) EN ALMACIGOS DE PIMIENTO

MALEZAS	PLANTAS/m ²		
	SOLARIZADO	NO SOLARIZADO	CONTROL (%)
Pasto de invierno	19	1863	99,0
Capín colorado	0	369	100,0
Albahaca silvestre	0	188	100,0
Mastuerzo	0	150	100,0
Bolsa del pastor	0	63	100,0
Lengua de vaca	0	63	100,0
Verdolaga	0	63	100,0
Cotula	0	38	100,0
Capiquí	0	25	100,0
Sanguinaria	0	25	100,0
Quínoa	0	13	100,0
Yuyo colorado	0	12	100,0

Bibliografía

- KATAN, J. 1987. Soil Solarization. In "Innovative Approaches to Plant Disease Control" Editado por Ilan Chet. John Wiley & Sons, Inc., New York. Capítulo 4: 77-105.
- MITIDIERI, A. y A. CONSTANTINO. 1995. Efecto de la Solarización en el Control de Malezas y en la Residualidad del Herbicida Clomazone (Información no publicada).
- RUBIN B. y A.D. BENJAMIN. 1983. Solar heating of the soil: Effect on weed control and on soil incorporated herbicides. Weed Sci., 31:819-825.

ASPECTOS CLIMATICOS

Ing. Agr. Nora Francescangeli

LA SOLARIZACION DEL SUELO. ASPECTOS CLIMÁTICOS

Ing.Agr. Nora Francescangeli - E.E.A. INTA San Pedro

Desde mucho antes de conocer la naturaleza de las enfermedades de los vegetales, los agricultores vienen utilizando, más o menos conscientemente la acción directa del sol para sanearlos.

La mayoría de los estudios de supervivencia de organismos patógenos se han realizado en laboratorio y se refieren a efectos de la temperatura, humedad y radiación ultravioleta (UV) corta sobre organismos aislados de su medio natural.

La solarización del suelo, sin embargo, no se puede explicar como una simple destrucción de organismos patógenos por la acción del calor, la humedad o la radiación UV: implica procesos físico-químicos complejos, todavía poco conocidos.

Katan (In Chet, 1987) considera que son tres los principales procesos involucrados durante el proceso de solarización, y que su acción conjunta resulta en el control de enfermedades y aumento de rendimientos que la práctica ha demostrado:

- 1) Inactivación termal de patógenos.
- 2) Cambios en las poblaciones de antagonistas naturales del suelo (que también son afectados por el calor).
- 3) Modificaciones en las fases sólidas, líquidas y gaseosas de los componentes inorgánicos del suelo.

En el presente trabajo se exponen una recopilación bibliográfica y un conjunto de datos propios y de otros autores referidos únicamente a los **aspectos climáticos del proceso de solarización del suelo.**

Rol de la radiación solar en la mortalidad de organismos patógenos

La radiación solar que llega a la superficie de la tierra, está comprendida entre los 290 y los 5000 nanómetros ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) de longitudes de onda. Es absorbida por el suelo, vegetación y distintos elementos de la atmósfera y re-emitada como radiación infrarroja (IR) larga (5000 a 15.000 nm).

Distintos componentes de la radiación solar global que llega al suelo



Rotem *et al.* (1985) demostraron trabajando con distintos filtros, que la radiación UV es el principal elemento fungicida de la radiación solar y que su acción, más bien que la del incremento de temperatura, causó mortalidad en esporas de *Alternaria solani*, *Uromyces phaseoli* y *Peronospora tabacini*. Para conseguir los mismos efectos, **a campo**, estos autores calcularon que serían necesarias dosis de radiación UV solar 10 veces mayores que la de 254 nm usada en el laboratorio.

Aunque la radiación UV de onda corta ya era un conocido agente fungicida en la década del '50, pocas experiencias han comparado efectos entre la radiación UV usada en laboratorio y la de todo el espectro solar recibida por los organismos a campo: desde el sol no se reciben longitudes de onda < a 290 nm.

Se encuentran en la bibliografía algunas referencias de la acción negativa de radiación UV larga sobre ascosporas de *Sclerotinia sclerotiorum* a campo (Caesar *et al.*, 1983); pero también se ha demostrado que este tipo de radiación produce sobre los organismos un fenómeno llamado **fotoreactivación** (Jagger, 1958), por lo que no puede asegurarse su efecto fungicida en todas las especies.

Hasta tanto se desarrollen nuevos trabajos para dilucidar el verdadero rol esterilizante de la radiación UV a campo, debe asumirse que es el incremento de temperatura el responsable de desencadenar los procesos de eliminación de la mayoría de los patógenos, plagas y semillas, durante la solarización del suelo.

Efectos del calor sobre los organismos

Los umbrales térmicos letales establecidos en laboratorio para muchos organismos, no son válidos en el terreno, ya que las temperaturas que se registran en el suelo durante el proceso de solarización no suelen alcanzar valores muy elevados ni se mantienen por períodos regulares de tiempo.

Pullman *et al.* (1981) observaron que algunas de cepas de *Verticillium dahliae* no sobrevivían a una exposición de 30 minutos a 50°C, pero que a 37° se necesitaban de 26 a 29 días para eliminarlas.

Temperaturas subletales ocasionan atrasos en la germinación, que varían con los valores térmicos y duración de la exposición. Se ha comprobado que el daño producido por el calor se acumula gradualmente hasta un punto desde el cual el propágulo no puede recuperarse. Sin embargo, si se detiene el proceso antes de que el daño alcance este punto, suele ocurrir la supervivencia. Un propágulo "parcialmente viable" puede desarrollarse normalmente si se le dan condiciones favorables y suficiente tiempo; aunque generalmente en el suelo los antagonistas que sobreviven no se lo permiten (Pullman *et al.*, 1981).

Es importante, por lo tanto, poder responder a la cuestión **cuánto tiempo debe actuar el calor para lograr una cierta tasa de mortalidad**. La interacción **temperatura x tiempo** brinda diferentes resultados según organismos, tipos de suelo, condiciones de otros factores climáticos, etc.

En todos los casos, sin embargo, las unidades de la solarización se medirán en semanas o días, nunca en horas o minutos.

Condiciones de calentamiento del suelo

El calentamiento del suelo es función de la radiación global recibida en un lugar dado, después de perderse una parte que se transmite a través del suelo y otra que se re-emite hacia la atmósfera.

La radiación global depende de la duración del día y de la altura máxima del sol sobre el horizonte. Por lo tanto varía con la latitud, la estación y la hora del día. Además, la nubosidad y la cobertura del suelo afectan localmente la radiación recibida por el mismo.

El flujo de energía a la entrada de la atmósfera es máximo durante los dos equinoccios en la zona del ecuador y sólo durante el solsticio de verano más allá de los trópicos.

La amplitud de la variación estacional de la energía recibida aumenta con la latitud (Tabla 1), mientras que la media anual disminuye.

Tabla 1. Energía recibida a diferentes grados de latitud (Foury, 1995)

latitudes	24° (trópicos)	30°	46°	52°
energía (Kj/cm2/día)				
solsticio de invierno	2247	2005	1000	250
solsticio de verano	4097	4185	4256	3450

Las consecuencias prácticas de este conocimiento son las siguientes:

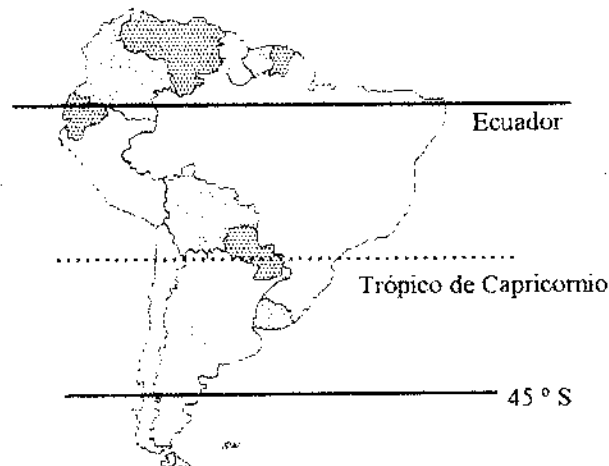
1) Fuera de la zona intertropical, la solarización sólo puede practicarse en verano.

2) Si la energía que se acumula no es considerable, debe prolongarse lo máximo posible el tiempo de la solarización.

3) Las condiciones más favorables para la solarización del suelo se presentan en regiones donde la altura del sol a mediodía alcanza por lo menos 70°. Esto se produce hasta latitudes de 45° aproximadamente. En zonas de mucha nubosidad, el calentamiento del suelo depende de elementos que difundan la radiación, por ej. viento con arena en las cercanías a los mares.

Las temperaturas máximas que se registran en el suelo de un lugar determinado dependen también de sus características físico-químicas y de su textura, y son condicionantes las temperaturas de las capas de aire en contacto con él.

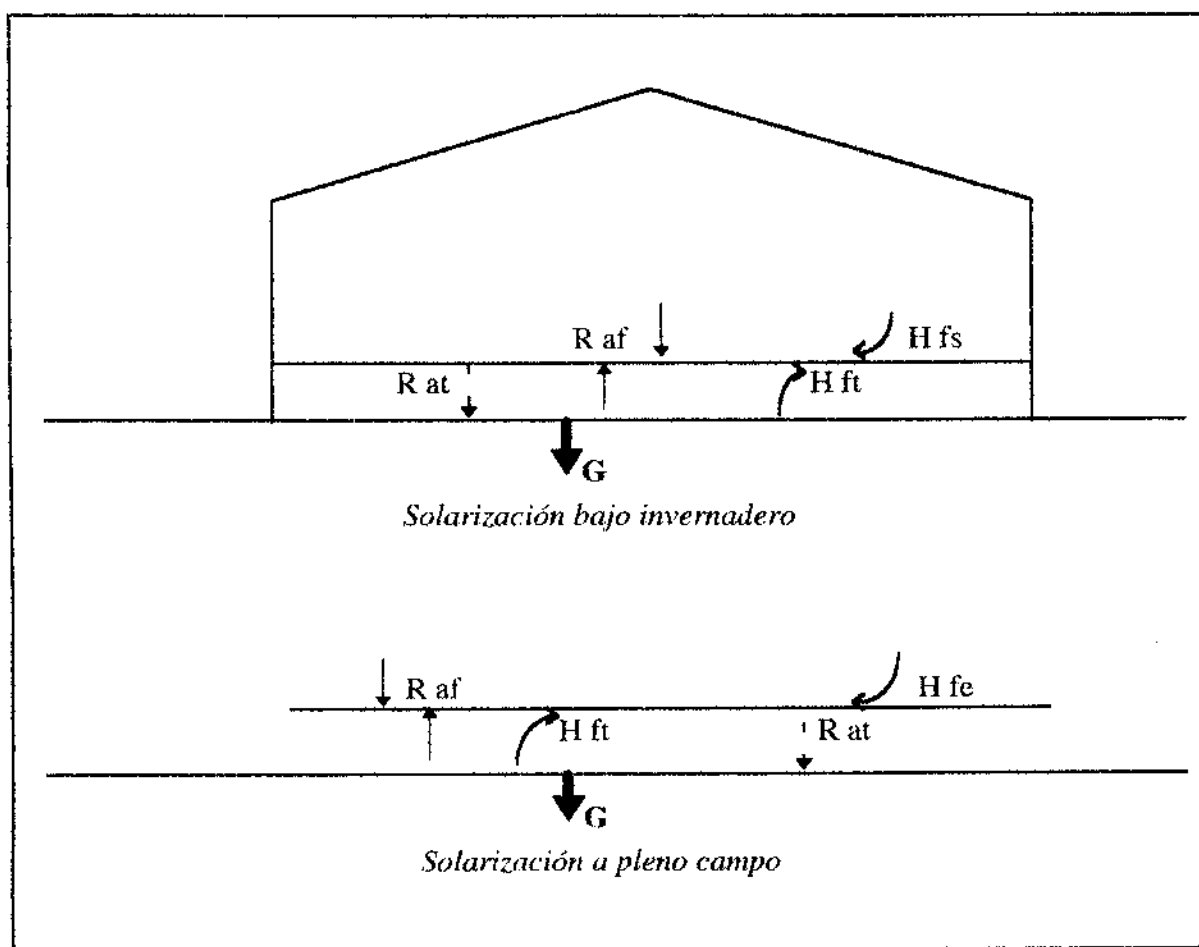
En el siguiente mapa pueden observarse la zona intertropical de América del Sur y las regiones de Argentina donde es posible realizar la solarización de suelo en verano (entre el trópico de Capricornio y los 45° S de latitud):



Solarización a campo y bajo invernadero. Procesos y valores térmicos producidos en el suelo.

En la Figura 1 se presenta un esquema que indica los procesos de transmisión de la energía térmica bajo invernadero y a campo.

Figura 1. Esquema de proceso de transmisión de energía térmica en dos situaciones de solarización: bajo invernadero y a pleno campo (Failla et al., 1991)



Leyendas Figura 1:

R_{af} : Radiación absorbida por el film de polietileno.

R_{at} : Radiación absorbida por el terreno.

G : Flujo térmico convectivo entre la superficie y el interior del terreno.

H_{ft} : Flujo térmico convectivo entre el polietileno y la superficie del terreno.

H_{fs} :Flujo térmico convectivo entre el polietileno y el aire interno del invernadero.

H_{fe} : Flujo térmico convectivo entre el polietileno y el aire exterior.

De diversas mediciones realizadas por distintos autores surge que: la presencia del invernadero tiene un efecto positivo sobre el régimen térmico del terreno en proceso de solarización, con respecto a la situación a pleno campo: aumentan los valores de temperaturas máximas, mínimas y promedios. Esto se debe a la acción de volante térmico ejercida por la masa de aire encerrada en la estructura y a la menor pérdida de energía, por convección, entre el polietileno y el aire interno del invernadero que la que se produce entre el film que cubre el suelo y el aire exterior a pleno campo.

La transparencia del material de cobertura del invernadero sin embargo, determina una pequeña reducción de la radiación global que recibe el terreno en su interior, con respecto a la que llega en pleno campo: se da total transmisión de radiación de onda corta y se frena la larga. Estas diferencias, aunque todavía no estudiadas, podrían generar una respuesta diversa en la mortalidad de los patógenos si se tiene presente que el proceso de solarización del suelo no es una simple consecuencia del aumento de temperatura.

No obstante, los períodos de tiempo más prolongados a temperaturas más altas, podrían acortar la duración de la solarización bajo invernadero, a iguales condiciones de infestación que a campo.

Failla *et al.* (1991), a través de un modelo matemático, convalidado con datos sobre el terreno, demostraron que en ciertas regiones la solarización a campo no resulta efectiva pues los valores térmicos que se obtienen en los estratos inferiores del perfil arable no alcanzan para eliminar las poblaciones de patógenos. En esas mismas regiones, la solarización bajo invernadero logra tal objetivo. En la Tabla 2 se muestran, a modo de ejemplo, los datos comparativos de la solarización a campo y bajo invernadero obtenidos por estos autores.

Tabla 2. Número de horas diarias en las que la temperatura media horaria del terreno, a diversas profundidades, y para las condiciones ensayadas, permaneció comprendida en los intervalos fijados. Ensayo realizado en Catania, Italia, Agosto de 1987 (Failla *et al.*, 1991).

Temperatura \ Profundidad	Bajo Invernadero		En pleno campo	
	10 cm	30 cm	10 cm	30 cm
	horas/día		horas/día	
$t < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	11	21	16	24
$40\text{ }^{\circ}\text{C} < t < 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	10	3	8	0
$t > 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	3	0	0	0

En San Pedro, en una experiencia de solarización bajo invernadero, de 26 días de duración (ver apartado siguiente), pudo comprobarse la diferente exposición al calor que tuvieron los organismos patógenos a dos profundidades del terreno. En la Tabla 3 se exponen algunos de estos datos.

Tabla 3. Número total de horas de exposición de suelo solarizado y testigo a diferentes temperaturas, según profundidades. Tiempo total de la solarización: 624 hs Ensayo realizado en la E.E.A. INTA San Pedro, bajo invernadero en Enero de 1995.

Temperatura \ Profundidad	Suelo solarizado		Suelo testigo	
	5 cm	10 cm	5 cm	10 cm
	total de horas		total de horas	
$t > 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	14	5	1	0
$t > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	280	232	61	13

En cualquier lugar donde se produzca la solarización, a medida que aumenta la profundidad del suelo, las oscilaciones entre temperaturas máximas y mínimas diarias son menores. Los valores máximas del suelo se alcanzan más tarde en el transcurso de la jornada que los de aire.

De diversas mediciones realizadas por distintos autores surge que: la presencia del invernadero tiene un efecto positivo sobre el régimen térmico del terreno en proceso de solarización, con respecto a la situación a pleno campo: aumentan los valores de temperaturas máximas, mínimas y promedios. Esto se debe a la acción de volante térmico ejercida por la masa de aire encerrada en la estructura y a la menor pérdida de energía, por convección, entre el polietileno y el aire interno del invernadero que la que se produce entre el film que cubre el suelo y el aire exterior a pleno campo.

La transparencia del material de cobertura del invernadero sin embargo, determina una pequeña reducción de la radiación global que recibe el terreno en su interior, con respecto a la que llega en pleno campo: se da total transmisión de radiación de onda corta y se frena la larga. Estas diferencias, aunque todavía no estudiadas, podrían generar una respuesta diversa en la mortalidad de los patógenos si se tiene presente que el proceso de solarización del suelo no es una simple consecuencia del aumento de temperatura.

No obstante, los períodos de tiempo más prolongados a temperaturas más altas, podrían acortar la duración de la solarización bajo invernadero, a iguales condiciones de infestación que a campo.

Failla *et al.* (1991), a través de un modelo matemático, convalidado con datos sobre el terreno, demostraron que en ciertas regiones la solarización a campo no resulta efectiva pues los valores térmicos que se obtienen en los estratos inferiores del perfil arable no alcanzan para eliminar las poblaciones de patógenos. En esas mismas regiones, la solarización bajo invernadero logra tal objetivo. En la Tabla 2 se muestran, a modo de ejemplo, los datos comparativos de la solarización a campo y bajo invernadero obtenidos por estos autores.

Tabla 2. Número de horas diarias en las que la temperatura media horaria del terreno, a diversas profundidades, y para las condiciones ensayadas, permaneció comprendida en los intervalos fijados. Ensayo realizado en Catania, Italia, Agosto de 1987 (Failla *et al.*, 1991).

Temperatura	Profundidad	Bajo Invernadero		En pleno campo	
		10 cm	30 cm	10 cm	30 cm
		horas/día		horas/día	
$t < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$		11	21	16	24
$40\text{ }^{\circ}\text{C} < t < 50\text{ }^{\circ}\text{C}$		10	3	8	0
$t > 50\text{ }^{\circ}\text{C}$		3	0	0	0

En San Pedro, en una experiencia de solarización bajo invernadero, de 26 días de duración (ver apartado siguiente), pudo comprobarse la diferente exposición al calor que tuvieron los organismos patógenos a dos profundidades del terreno. En la Tabla 3 se exponen algunos de estos datos.

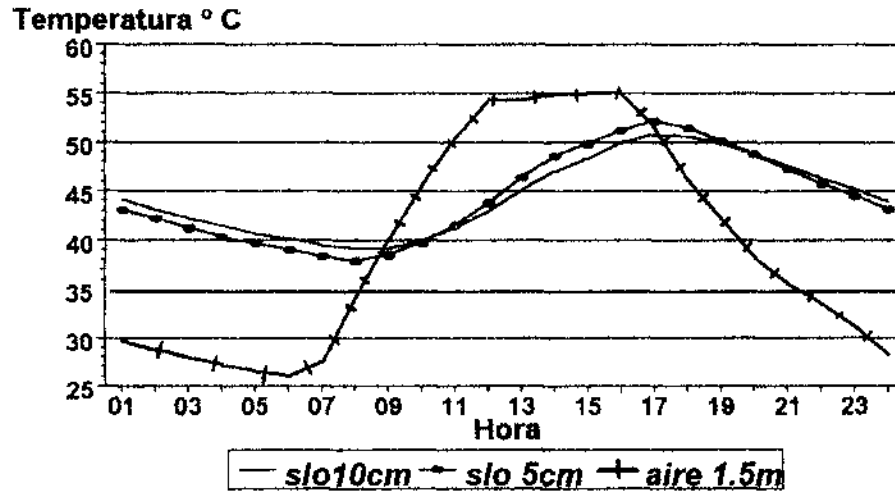
Tabla 3. Número total de horas de exposición de suelo solarizado y testigo a diferentes temperaturas, según profundidades. Tiempo total de la solarización: 624 hs Ensayo realizado en la E.E.A. INTA San Pedro, bajo invernadero en Enero de 1995.

Temperatura	Profundidad	Suelo solarizado		Suelo testigo	
		5 cm	10 cm	5 cm	10 cm
		total de horas		total de horas	
$t > 50\text{ }^{\circ}\text{C}$		14	5	1	0
$t > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$		280	232	61	13

En cualquier lugar donde se produzca la solarización, a medida que aumenta la profundidad del suelo, las oscilaciones entre temperaturas máximas y mínimas diarias son menores. Los valores máximas del suelo se alcanzan más tarde en el transcurso de la jornada que los de aire.

En la Figura 2 se presenta la evolución diaria típica de temperaturas en un suelo solarizado con datos registrados en San Pedro.

Figura 2. Evolución diaria de la temperatura a dos profundidades de un suelo en proceso de solarización. Datos registrados en San Pedro, 12/01/95.



Como ya se mencionó, la textura del suelo también condiciona la capacidad del mismo de acumular calor. En una experiencia desarrollada en Italia, Basile (1992) demostró en 3 tipos de suelos, que aunque las máximas alcanzadas no difirieron considerablemente, el tiempo transcurrido en distintos niveles de temperatura varió notablemente con la textura de los mismos. Algunos datos se exponen en la Tabla 4.

Tabla 4. Tiempo transcurrido (hs) en varios niveles de temperatura, durante la solarización del terreno (tiempo completo 1200 horas) a 3 profundidades. Modificado de Basile (1992).

Tipo de suelo	Arenoso			Arcilloso			Limo-arenoso		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Temperatura									
40-45 °C	320	136	0	232	0	0	78	0	0
35-40 °C	458	781	748	432	686	492	508	284	0

Experiencia de solarización de suelo bajo invernadero en San Pedro

En la E.E.A. INTA San Pedro, durante enero de 1995, se desarrolló una experiencia de solarización de suelo bajo invernadero, en una estructura de 20 x 25 m, con cobertura de polietileno térmico de 150 micrones; donde se cubrió el suelo con polietileno cristal de 50 micrones, dejando cuadros desnudos como testigo. El suelo del lugar es franco arcillo limoso.

Considerando solamente los aspectos climáticos de la experiencia, se tomaron mediciones de temperatura y humedad relativa de aire a 1.50m y de temperatura de suelo solarizado y no solarizado, a 5 y 10 cm de profundidad, en el invernadero cerrado donde se desarrolló la misma, y se compararon con similares posiciones de un invernadero abierto, de iguales características, con cultivo de tomate y con el exterior. Los registros se obtuvieron con adquisidores automáticos de datos ETG S.A., Florencia, Italia: que brindaron promedios horarios y valores máximos y mínimos diarios de cada sensor.

El ensayo tuvo una duración total de 26 días (624 horas), período durante el cual se registraron en el exterior temperaturas algo más bajas a los promedios históricos de la época:

Tabla 5. Valores de temperatura de aire y suelo registrados en San Pedro durante Enero de 1995, y su comparación con los promedios históricos 1965-1994. (Uviedo,1995)

	Enero 1995	Enero 1965/94
AIRE a 1.50 m:		
Temperatura media mensual °C	23.2	23.9
Temperatura máxima media °C	29.1	30.2
Temperatura mínima media °C	16.4	17.4
SUELO:		
Temp media mensual a 0.05m prof. °C	25.1	25.7
Temp media mensual a 0.10m prof. °C	25.2	25.5

Las temperaturas de aire en el invernadero cerrado fueron notablemente superiores a las registradas en el abierto y en el exterior, mientras que la humedad relativa del aire presentó promedios más bajos, por tratarse de una estructura sin vegetación y con suelo cubierto por polietileno (Tabla 6)

Tabla 6. Valores de temperatura y humedad relativa de aire a 1.5m registrados en el invernadero en proceso de solarización, en el testigo con cultivo de tomate y en el exterior, durante el período de la experiencia en San Pedro (09/01-04/02/95).

		Invernadero cerrado	Invernadero abierto	Exterior
Temperatura media	°C	34.0	25.0	22.2
Temperatura máxima media	°C	51.1	35.6	28.8
Temperatura mínima media	°C	17.0	15.8	15.2
Humedad relativa media	%	55	66	65
Hdad relativa máxima media	%	83	95	91
Hdad relativa mínima media	%	26	33	39

Las temperaturas de suelo en los sectores solarizados estuvieron en promedio (tanto a 5 como a 10 cm de profundidad) alrededor de 4 a 5 °C más altas que en los sectores no solarizados.

Las temperaturas de suelo a 5 cm de profundidad sufrieron mayor variación diaria que a 10 cm, produciéndose las máximas de suelo alrededor de 2 horas después que la máxima de aire a 1.5 m (Figura 2).

Cuánto más altos fueron los valores de la temperatura de aire exterior, se observaron:

- a. Mayores diferencias térmicas entre suelo solarizado y no solarizado
- b. Mayores diferencias térmicas entre niveles de suelo (5 y 10 cm).

En la Tabla 7 se resumen los valores térmicos registrados en el suelo durante el desarrollo de la experiencia:

Tabla 7. Temperaturas de suelo registradas durante la experiencia de solarización de suelo bajo invernadero en San Pedro, (09/01-04/02/95).

	Invernadero cerrado				Invernadero abierto	Exterior	
	Solarizado		No solarizado			5 cm	5 cm 10 cm
	5 cm	10 cm	5 cm	10 cm			
Promedio °C	39.4	40.0	33.9	34.2	26.4	25.0	25.1
Máx media °C	46.4	46.1	41.4	40.1	30.2	-	-
Mín media °C	28.1	29.0	24.3	25.1	22.5	-	-
Máx absoluta °C	57.6	55.6	55.0	54.1	38.5	-	-
Mín absoluta °C	18.5	19.3	14.9	15.2	17.8	-	-

Los plásticos utilizados en la solarización

La radiación solar transmitida al suelo en proceso de solarización depende de la *transparencia* del material utilizado para cubrirlo. Como ya se mencionó, el suelo re-emite esta radiación en longitudes de onda larga o caloríficas, que deben retenerse eficientemente para mantener las altas temperaturas del terreno por más tiempo. La *naturaleza* del film determina su impermeabilidad a las radiaciones largas.

Los tres materiales de uso más generalizado en el mundo para llevar a cabo la solarización del suelo son: el copolímero etil acetato de vinilo (EVA), el cloruro de polivinilo (PVC) y el polietileno de baja densidad (PE).

Los tres materiales tienen excelente transmisión de la luz visible (superior a 90%): pero en cuanto a impermeabilidad a las radiaciones caloríficas, sus comportamientos son muy diferentes: se ha determinado que la transmisión al infrarrojo es menor a 40% en el EVA y en el PVC, y superior a 75 % en el PE. El costo de los mismos, según países, guarda aproximadamente esta última relación (Montero y Antón, 1993).

Garibaldi y Tamiatti (1984, In: Jarvis, 1992) comprobaron que el film de PVC tuvo mejor comportamiento térmico que el PE en la solarización de suelos en el Norte de Italia (Tabla 8). Además, encontraron que la solarización bajo invernadero fue más efectiva en estructuras de vidrio que en las de plástico (Tabla 9); debido a la opacidad del vidrio a la radiación IR.

Asumiendo que el material de cobertura del invernadero tiene un rol importante en la acumulación térmica del suelo solarizado; la elección del PE Larga Duración Térmico (además de las ventajas que aporta a los cultivos durante períodos fríos) contribuiría en verano a hacer más eficiente la desinfección solar, que otros tipos de materiales, como por ej. el PE Larga Duración (usado en muchas zonas del Norte de Argentina).

Tabla 8. Solarización del suelo bajo PE y PVC (Garibaldi y Tamietti, 1984; In Jarvis, 1992)

Prof. suelo cm	Horas con temp. > 45°C (por día)		Temp media °C		Nº total de horas con temp. > 40°C	
	PE	PVC	PE	PVC	PE	PVC
7	3.55	5.50	46.1	50.1	371	410
15	0.92	0.93	42.5	49.7	308	347
20	0.00	0.00	37.6	38.9	36	156

Tabla 9. Solarización del suelo a tres profundidades en invernaderos con cobertura de vidrio y de plástico (Garibaldi y Tamietti, 1984; In Jarvis, 1992)

Cobert. del invernadero	Profundidad	Nº total de horas con temperatura > 40°C		
		5 cm	12 cm	20 cm
vidrio		577	560	375
plástico		287	191	0

La *edad* del polietileno del mulch de cobertura también es objeto de consideración por algunos autores. Avissar *et al* (1986, a b) demostraron que las propiedades fotométricas (absorción y transmisión de la luz visible) y termométricas (transmisión de las radiaciones caloríficas) cambian durante el proceso de envejecimiento del film; y que el material utilizado previamente durante otra campaña de solarización es más efectivo que uno nuevo en mantener el calentamiento del suelo. Este comportamiento se debe a que las pequeñas gotas que se condensan en el PE nuevo reflejan más radiación global y transmiten mejor la radiación infrarroja que los depósitos de tierra y agua que se encuentran en las películas luego de ser utilizadas durante una campaña de solarización (Figuras 3 y 4). Otros autores, sin embargo, recomiendan películas de PE o EVA nuevas o muy limpias (Foury, 1995).

Figura 3. Transmisión de radiación UV y visible de mulch de PE de distintas edades. (Avissar *et al.*, 1986)

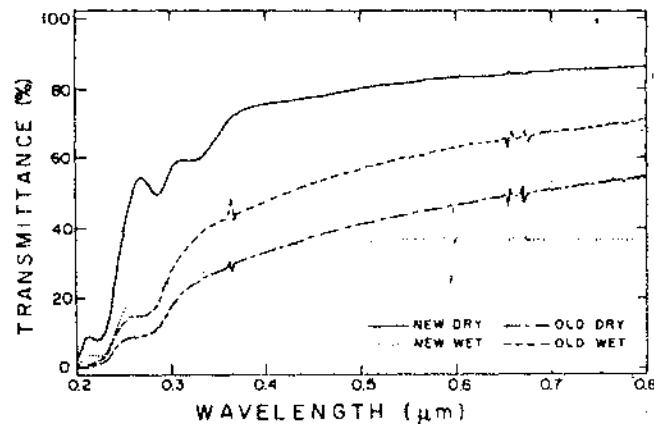
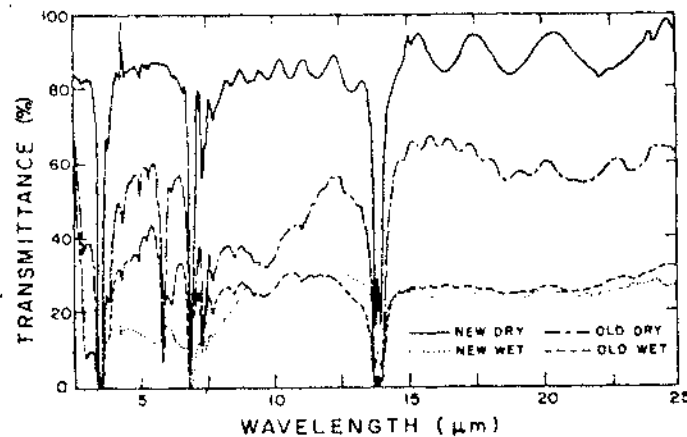


Figura 4. Transmisión de radiación infrarroja de mulch de PE de distintas edades. (Avissar *et al.*, 1986)



El *espesor* de la película de polietileno también determina la eficiencia del calentamiento del suelo. Triolo *et al.* (1985) en Pisa, Italia; compararon los incrementos térmicos con respecto al testigo, producidos en parcelas solarizadas con PE de 50 y 150 micrones de espesor. La película más fina favoreció el mayor calentamiento del suelo (Tabla 10), aunque estos resultados no implicaron una solarización más eficiente, pues por una parte no se logró inactivar al patógeno más agresivo (objetivo de la experiencia) y por otra, los valores térmicos alcanzados en el suelo cubierto por el polietileno más grueso también fueron suficientes para reducir las poblaciones de los otros patógenos existentes en el lugar.

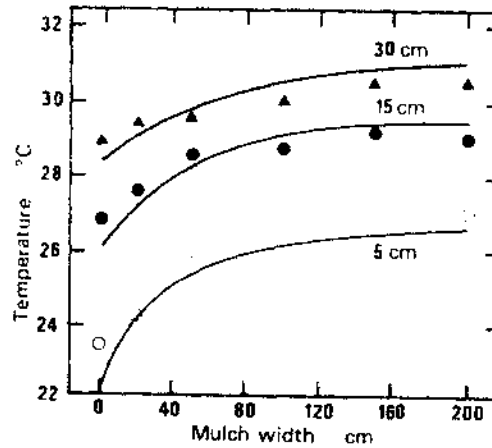
Tabla 10. Incremento térmico (°C) de un terreno en proceso de solarización cubierto por mulch de PE de dos grosores. Valores mínimos (Min) y máximos (Max) absolutos de los incrementos medios diarios e incremento medio (Med) del período de solarización.

Experiencia desarrollada en Italia en 1983. Modificado de Triolo *et al.*, 1985.

Profundidad	PE 50			PE 150		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max
5 cm	5.0	10.4	18.0	2.6	8.8	13.8
10 cm	3.8	8.6	10.8	3.2	8.5	10.8

El *ancho* de las bandas de PE que se utilicen en la solarización del suelo, también influye en la acumulación térmica. Aunque se han realizado pocas experiencias sobre este aspecto, la evidencia empírica demuestra que la inactivación de patógenos y especies de malezas es menos efectiva en los bordes. Mahrer y Katan (1981, In Jarvis, 1992) establecieron un modelo teórico que predice temperaturas de suelo en distintas situaciones de ancho de mulch de PE (Figura 5)

Figura 5. Temperaturas de suelo mínimas medias diarias observadas (símbolos) y estimadas (curvas), a 5, 15 y 30 cm de profundidad; en el centro de un film de PE que cubre el suelo, en función del ancho de la cobertura. (Mahrer y Katan, 1981; In Jarvis, 1992).



Susceptibilidad de patógenos y malezas a la solarización del suelo

En la zona mediterránea de Europa, la solarización del suelo ha demostrado su efectividad, tanto a pleno campo como bajo invernadero, en diversos suelos y para distintos patógenos (Foury, 1995).

Se han logrado excelentes resultados en los primeros 10 cm de suelos infectados con *Plasmodiophora brassicae*, hasta 52° N de latitud. La eficacia de la práctica osciló entre 40 y 80 % para *Sclerotinia* en lechuga y para *Fusarium* en tomate en todas las regiones donde la insolación mensual de los meses de verano alcanza como mínimo a 25 horas (Foury, 1995).

Después de numerosas experiencias, se han cuantificado aceptablemente los niveles de temperaturas y tiempo requeridos para eliminar distintos organismos a campo (Tablas 11 y 12).

Para terrenos infectados con nemátodos, aunque algunas especies han mostrado sensibilidad a las temperaturas que se logran con la solarización del suelo, los datos actuales no permiten recomendar la práctica como única estrategia de control.

Tabla 11. Ejemplos de niveles de temperaturas y tiempos de solarización requeridos para eliminar algunos patógenos de cultivos hortícolas (Modificado de Foury, 1995)

Patógenos	Cultivos	Temp °C	Días	Regiones
<i>Fusarium oxysporum</i>				
<i>fsp conglutivans</i>	repollo	40-50	15	USA
<i>fragariae</i>	fresa	50-60	30	Japón
<i>niveum</i>	sandía	48	30	Andalucía
<i>Plasmodiophora brassicae</i>	Crucíferas	40-50	30	Japón
<i>Pyrenocheta lycopersici</i>	Solanáceas cebolla, lechuga	43-50	50	Aquitania España
<i>Pythium</i> spp	varios	40-50	10-50	S USA, Japón
<i>Rhizoctonia solani</i>	espinaca, lechuga	45	10-40	USA, Japón Francia
<i>Sclerotinia minor</i>	verd. hoja	45	30	USA, Francia Italia
<i>Sclerotinia sclerotium</i>	arveja	40	48	Francia
<i>Verticillium dahliae</i>	Solanáceas	40-50	50	USA, Israel Andalucía

Tabla 12. Temperaturas y tiempos de solarización requeridos para la eliminación de algunas semillas de malezas (Foury, 1995).

Temperatura °C	Días	Especies
36	15	<i>Chenopodium album</i> <i>Digitaria sanguinalis</i> <i>Echinochloa crusgalli</i> <i>Eragrostis magastachya</i> <i>Solanum nigrum</i>
53	56	<i>Capsella bursa pastoris</i> <i>Convolvulus arvensis</i> <i>Sonchus asper</i>

La solarización del suelo. Conceptos a considerar desde el punto de vista climático.

1) Excluir regiones de pobre insolación en verano, ya sea por su latitud como por sus condiciones de nubosidad.

2) Existen diferencias entre la radiación solar recibida por el suelo al aire libre y bajo invernadero: no se pueden extrapolar resultados de experiencias.

3) La cobertura, textura y profundidad determinan los valores térmicos máximos esperables en el perfil de suelos ubicados en la misma latitud y para la misma época del año.

4) La naturaleza, transparencia, ancho y espesor del mulch de cubierta inciden de manera importante en la calidad y cantidad de la radiación calorífica retenida por el suelo.

5) Una buena acumulación térmica no es suficiente para garantizar la efectividad de la solarización: en el suelo se producen transformaciones en su composición orgánica e inorgánica, todavía poco conocidos, que pueden afectar el éxito de la práctica (especialmente en el mediano y largo plazo).

6) Cada situación de suelo y composición cuali y cuantitativa de infestación requieren interacciones temperatura x tiempo particulares, que deben explorarse en base a resultados de casos semejantes.

Bibliografía

1. **Avissar,R.; Mahrer,Y.; Margulies,L. and Katan,J.** 1986. Field Aging of Transparent Polyethylene Mulches: I.Photometric properties. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 50: 202-205.
2. **Avissar,R.; Naot,O.; Mahrer,Y and Katan,J.** 1986. Field Aging of Transparent Polyethylene Mulches: II.Influence on the Effectiveness of Soil Heating. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 50: 205-209.
3. **Basile,M.** 1992. Variazione della temperatura del terreno ricoperto con plastica trasparente nelle condizioni climatiche dell'Italia meridionale. *Agricoltura Ricerca*, 140: 91-93.
4. **Caesar, A.J. and Pearson,R.C.** 1983. Environmental factors affecting survival of ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Phytopathology* 73: 1024-1030.
5. **Chet,I.** 1987. Innovative approaches to plant diseases control. John Wiley and Sons, 372 pp.
6. **Failla,A.; Fichera,C e Cascone,G.** 1991. Simulazione dei processi termici attivati dalla solarizzazione del terreno sotto serra de in pieno campo. *Culture Protette*, 2: CXXXIII-CXXXVIII.
7. **Foury,C.** 1995. Quelques aspects de la désinfection solaire des sols. *PHM Revue Horticole* N° 356: 15-20.
8. **Jagger,J.** 1958. Photoreactivation. *Bacteriol.Rev.* 22: 99-141.
9. **Jarvis,W.R.** 1992. Managing diseases in greenhouse crops. APS Press, 288 pp.
10. **Montero,J.I. y Antón,A.** 1993. Tecnología del invernadero. Curso Tecnología de la Horticultura Protegida, INTA-UBA, 129pp.
11. **Pullman,G.S.; De Vay,J.E. and Garber,R.H.** 1981. Soil Solarization and Thermal Death: A Logarithmic Relationship Between Time and Temperature for Four Soilborne Plant Pathogens. *Phytopathology* 71: 959-964.
12. **Rotem,J.; Wooding,B. and Aylor,D.E.** 1985. The Role of Solar Radiation, Especially Ultraviolet, in the Mortality of Fungal Spores. *Phytopathology* 75 (5): 510-514.
13. **Triolo,E; Vannacci,G e Scaramuzzi,G.** 1985. Possibilità di applicazione delle solarizzazione del terreno in Italia indagini sul binomio lattuga-*Sclerotinia minor* Jagger. *La difesa delle piante*, Anno 8, N° 2: 127-140.
14. **Uviedo,R.H.** 1995. Resúmenes de distintos parámetros climáticos registrados en la Estación Agrometeorológica de la E.E.A. INTA San Pedro.

IMPACTO EN LA PRODUCCION

Ing. Agr. Mariel Mitidieri

EFFECTO DE LA SOLARIZACION SOBRE LA PRODUCCION

Ing. Agr. Mariel Silvina Mitidieri . EEA INTA San Pedro

Como ya se habrá estudiado en capítulos anteriores, la solarización es una técnica que involucra durante y luego de la ejecución de la misma, una serie de procesos hidrotérmicos que causan simultáneamente muchos cambios en los componentes bióticos y abióticos del suelo y que puede finalmente conducir, a un cambio en las enfermedades, crecimiento y rendimiento de la plantas. Los suelos solarizados sufren cambios significativos en su régimen de temperatura y humedad, en la composición orgánica e inorgánica de su fase sólida, líquida y gaseosa y en su estructura física, todo lo cual afecta su fase biótica (Katan, 1987).

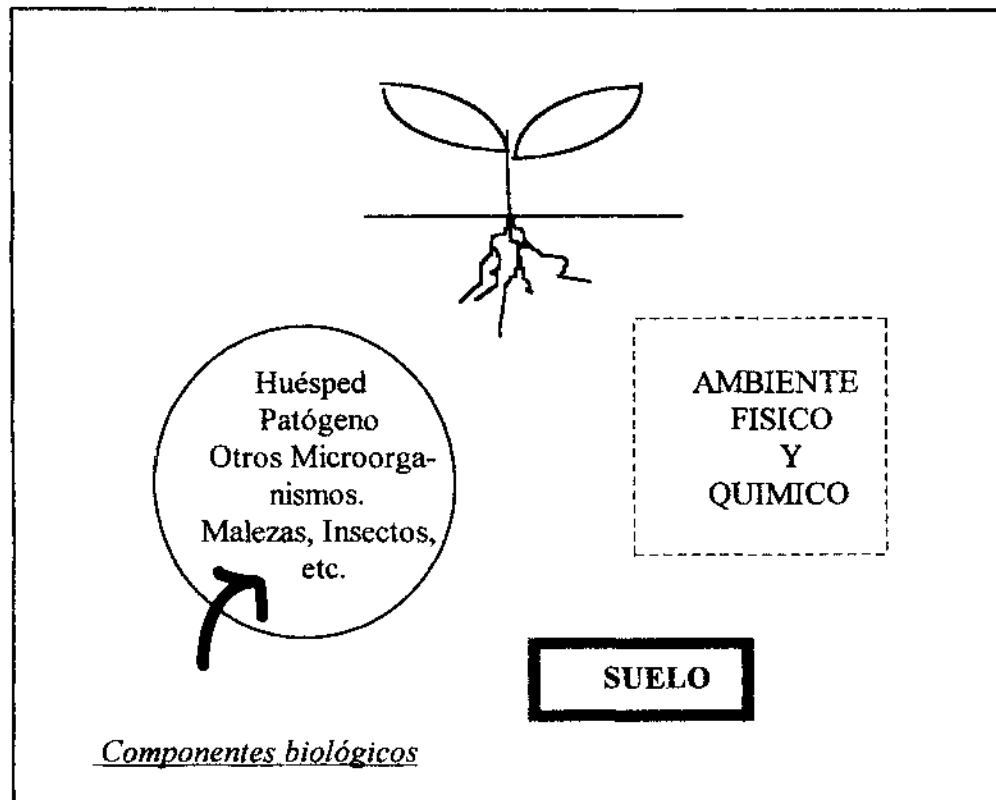


Fig. 1. Componentes físicos, químicos y biológicos, que interactúan con la planta y que son afectados por la solarización.

Desde fines del siglo pasado, se ha observado, un aumento del crecimiento y rendimiento de las plantas que crecían en suelos que habían sido fumigados o calentados artificialmente. Las causas del efecto positivo de la solarización sobre el crecimiento de las plantas, resumidas en el Cuadro 1, no han sido aún estudiadas en profundidad, las puntualizadas por los investigadores que han trabajado en el tema, se dividen a grandes rasgos en aquellas que actúan sobre los componentes físicos y químicos del suelo y aquellas que afectan a los organismos vivos del mismo (Katan, 1981,1987)(Gamliel y Katan, 1992).

Cuadro 1. Algunos efectos de la solarización sobre componentes físicos y químicos del suelo.

EFECTOS SOBRE COMPONENTES FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO	EFECTOS SOBRE MICROORGANISMOS Y OTROS ORGANISMOS VIVIENTES
Aumento de micro y macroelementos en la solución del suelo.	Eliminación de agentes patógenos.
Aumento en la concentración de materia orgánica soluble.	Eliminación de patógenos menores o desconocidos.
Destrucción de sustancias fitotóxicas.	Eliminación de malezas.
Liberación de sustancias reguladoras del crecimiento	Estimulación de micorrizas u otros microorganismos benéficos.
	Cambios en la composición de los exudados de las raíces de los cultivos que crecen en suelo solarizado.
	Inducción de suelos supresivos.

Cabe destacar, que el efecto de esta técnica no se evidencia solamente en sus consecuencias sobre cada factor en particular, sino también en las interacciones que pueden darse entre ellos.

Gamliel y Katan (1992), estudiaron el efecto de la solarización del suelo, sobre el exudado de raíces y semillas de plantas de tomate y el rol de éstos en el establecimiento de pseudomonas fluorescentes, bacterias que estimulan el crecimiento de las plantas. El exudado de las raíces, provee la mayor fuente de energía para la actividad microbiana y la colonización de sustratos vivos y no vivos, en la zona de la raíz; el contenido y composición de estos exudados, se ve afectado por factores edáficos, pesticidas, patógenos y microorganismos del suelo. Los autores encontraron, que las plantas crecidas en suelo no solarizado, tuvieron de un 20 a 574 % mayor contenido de azúcares totales en el exudado de sus raíces, en suelo solarizado, en cambio éstos contuvieron mayor contenido de aminoácidos (65-720 % mayor), sobre todo el ácido aspártico, también hubo diferencias en el contenido de etanolamina y ornitina. Esto podría estar indicando, un ambiente más favorable en el suelo solarizado, ya que, alto contenido en azúcares y bajo en amino compuestos, fueron encontrados en plantas estresadas por deficiencias de nutrientes, agua y patógenos. Los cambios en el contenido de los exudados, puede deberse a cambios en la permeabilidad de la membrana y en el metabolismo celular, el aumento del crecimiento en las plantas que crecen en el suelo solarizado, puede hacer traslocar intensivamente desde la raíz y hacer disminuir su contenido en azúcar y su exudación. En cuanto al crecimiento microbiano, se observó un mayor crecimiento de *Pseudomonas putida* en los exudados de raíces crecidas en suelo solarizado, estas bacterias, son pobres competidoras en el suelo y se ven favorecidas por la reducida actividad microbiana en la rizosfera de suelo solarizado.

Según Triolo et al (1991), la solarización ayuda a controlar las malezas y favorece a los microorganismos que hacen disponible para la planta, elementos minerales esenciales como el nitrógeno y el fósforo, sin afectar las micorrizas, ni al *Rhizobium* y citan numerosos ejemplos de efectos benéficos de esta técnica sobre la producción en Italia (Ver Cuadro 4).

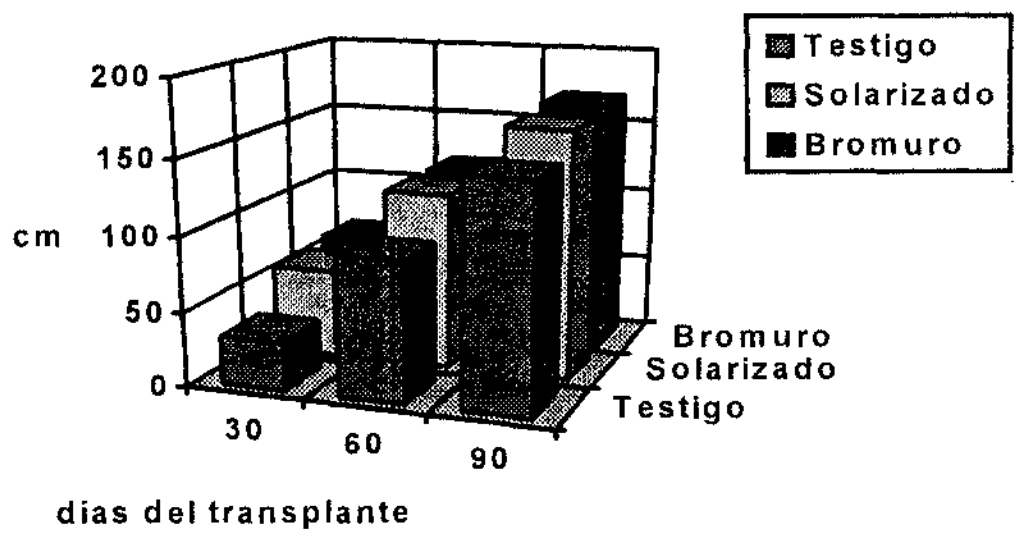
En Egipto, Abdel-Rahim et al (1988), estudiaron el efecto de esta técnica en varios cultivos; en haba, produjo aumentos de rendimiento, gracias al control de malezas, a pesar de que produjo, en los primeros periodos, una disminución en el crecimiento, por reducción del número de nódulos del *Rhizobium*, este efecto perjudicial sobre el cultivo, desapareció posteriormente. En cebolla, la solarización mejoró el crecimiento del cultivo, a través de mayores alturas de plantas, número de hojas y diámetros de cuello y bulbo. En tomate, se obtuvieron aumentos de rendimiento, a través de un mayor desarrollo y stand de las plantas, gracias al control efectivo de enfermedades y nemátodos. Estos autores también pudieron apreciar efectos positivos a largo plazo de la solarización probando las siguientes rotaciones:

- * HABA / MAIZ / HABA
- * HABA / GIRASOL / HABA
- * CEBOLLA / TOMATE
- * TOMATE / TREBOL

En todos los casos se registraron mejoras en el crecimiento y en los rendimientos y un efecto a largo plazo en el control de las principales malezas (*Orobanche crenata* Forsk.), enfermedades (*Pyrenochaeta lycopersici* Schn. & Gerl.) y nemátodos (*Meloidogyne incognita* Kofoid).

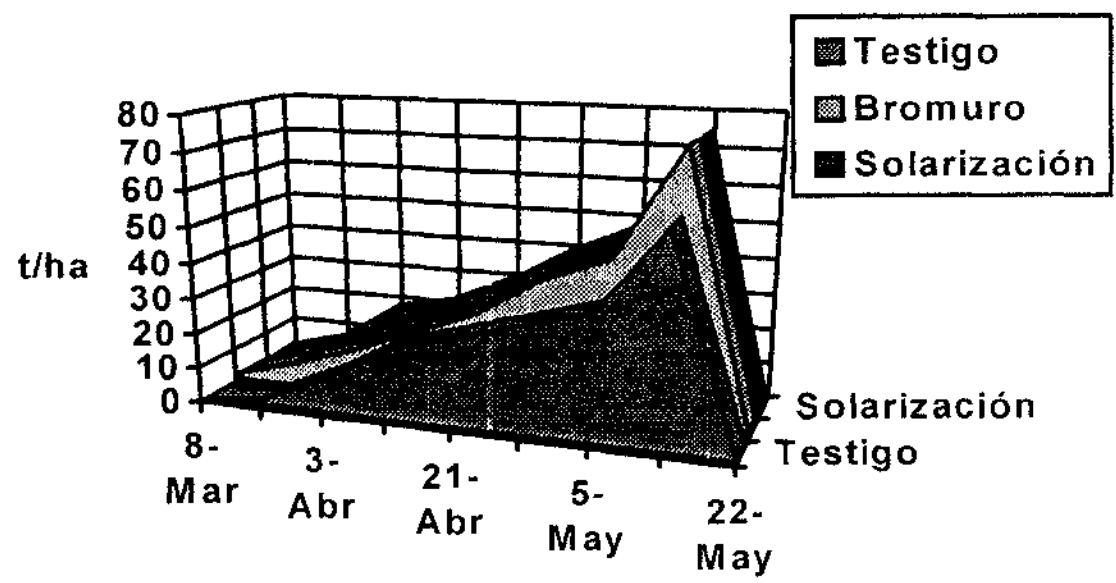
Cosentino et al. (1993), estudiaron el efecto de la solarización sobre la producción de tomate en invernáculos sin calefacción de la región de Sicilia (Italia). La altura de las plantas que crecían en parcelas solarizadas o tratadas con bromuro de metilo, fue el doble y 15 cm mayor que las del testigo a los 30 y 90 días del transplante respectivamente, también entraron en producción 12 días antes y mostraron mayor producción acumulada al final del ciclo de producción, en cuanto a los componentes del rendimiento, no se encontraron diferencias para peso por fruto, pero sí para número de frutos por planta; los resultados de estos ensayos pueden apreciarse en los gráficos 1 y 2. Si bien los efectos benéficos de la solarización sobre la producción, no son sustancialmente mayores a los de las parcelas tratadas con Bromuro, en estas últimas se observan valores mucho mayores de bromo en frutos y en el suelo (Ver Gráfs. 3 y 4).

Gráfico 1. Altura de plantas de tomate, en cultivo bajo cubierta, en diferentes momentos del ciclo, con distintos métodos de desinfección del suelo.



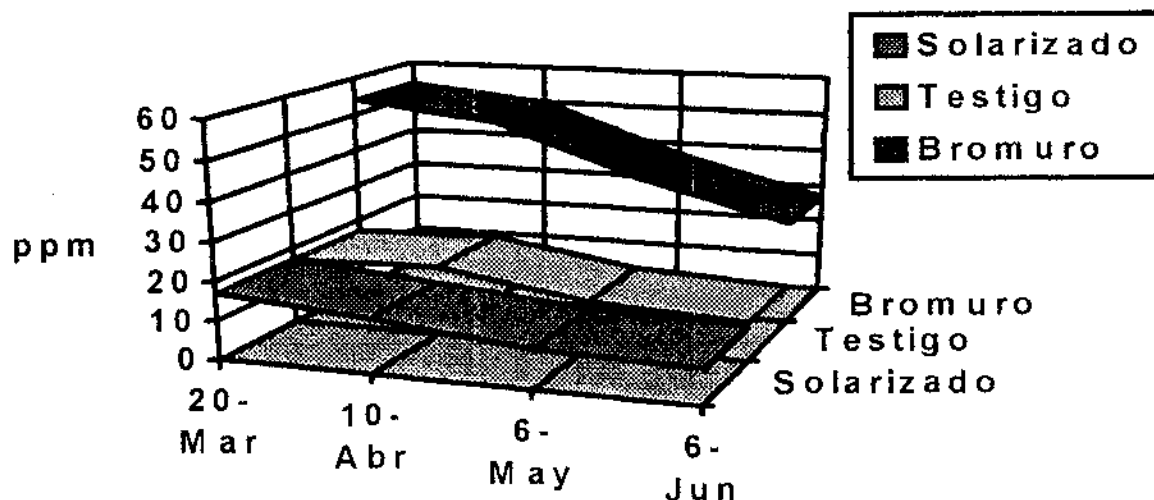
(datos: Cosentino et al, 1993).

Gráfico 2. Producción acumulada de tomate, en cultivo bajo cubierta, con distintos métodos de desinfección del suelo.



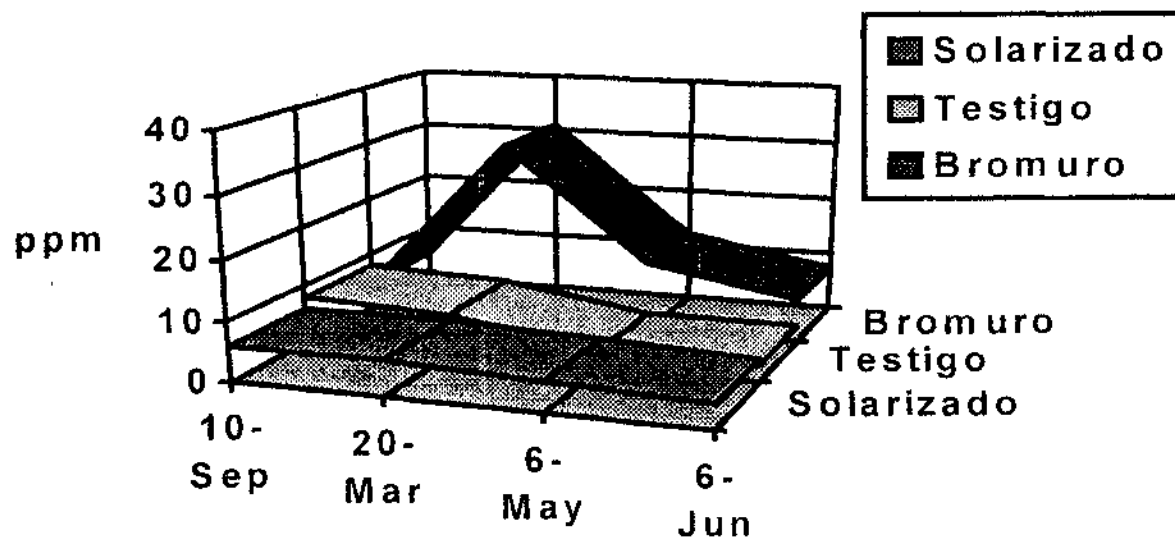
(datos: Cosentino et al, 1993)

Gráfico 3. Contenido de bromo en los frutos de tomate en cultivo bajo cubierta, con distintos métodos de desinfección del suelo.



(datos: Cosentino et al, 1993).

Gráfico 4. Contenido de bromo en el suelo, ensayo de tomate en cultivo bajo cubierta, con distintos métodos de desinfección del suelo.



(datos: Cosentino et al, 1993).

Materazzi et al (1987 *a*), obtuvieron aumentos de producción del 52 al 73 % y del peso medio de las plantas del 39 %, en cultivos de lechuga a campo solarizados y un incremento en la emergencia de las plantas del 46 % con respecto al testigo, el análisis de la composición analítica de la parte aérea de las plantas en madurez comercial, no reflejó diferencias entre los dos tratamientos, salvo un mayor contenido en magnesio en las parcelas solarizadas (Ver Cuadros 2 y 3). Similares resultados fueron obtenidos en invernáculo, Materazzi et al (1987 *b*), obtuvieron en las parcelas solarizadas, aumentos del rendimiento entre 32.4 y 48.3 %, acompañados de mayores pesos por planta (40 %).

Cuadro 2. Pesos por planta de lechuga (var. Augusta), en ensayos de solarización a campo y en invernáculo (Materazzi et al., 1987 *a* y *b*).

PESO POR PLANTA	A CAMPO	INVERNACULO
SOLARIZADO	369	342.6
TESTIGO	248	244.1

Cuadro 3. Composición analítica de la parte aérea de plantas de lechuga en madurez comercial (Materazzi et al, 1987 *a*).

COMPOSICION	SOLARIZADO	NO SOLARIZADO
Humedad (%)	95.6	96.2
Cenizas (%)	0.83	0.77
Proteínas (%)	1.55	1.55
Grasas (%)	0.25	0.25
Azúcares totales (%)	1.16	1.08
Azúcares reductores (%)	1.13	0.99
Fósforo (ppm)	26.40	27.40
Potasio (ppm)	52.60	51.70
Calcio (ppm)	31.40	31.70
Magnesio (ppm)	28.10	17.60
Sodio (ppm)	11.00	10.10
Hierro (ppm)	5.40	4.00

EVALUACION DEL EFECTO DE LA SOLARIZACION SOBRE LA PRODUCCION DE LECHUGA BAJO CUBIERTA (Mitidieri, M., Francescangeli, N., Marcozzi, P., Mitidieri, I. de, Mitidieri, A., 1995)

En la EEA del INTA de San Pedro se realizó un ensayo de solarización en el mes de enero de 1995, en un invernadero triple capilla, sin ventana cenital (20 x 25)(ver Aspectos climáticos, pag. 9), luego de retirado el polietileno, se probó el efecto de esta técnica, sobre un cultivo de lechuga. Se utilizó un diseño en parcela dividida con tres repeticiones, con solarización asignada a la parcela mayor, y aleatorizadas en ellas dos variedades de lechuga (Brisa, de hoja y Condor, mantecosa), la experiencia se repitió en dos ciclos sucesivos de lechuga sobre las mismas parcelas. La primera fecha se transplantó el 21 de febrero y la segunda el 10 de mayo de 1995, en ambos casos los plantines fueron producidos en speedlings sobre sustrato solarizado. Las parcelas constaron de 1 m², con un marco de plantación de 25 cm entre surcos y 15 cm entre plantas para Brisa y 20 cm para Condor. El ciclo de verano fue sombreado con malla (20 %). La cosecha se realizó a los 35 y 41 días del transplante para Brisa y Condor respectivamente, en el primer ciclo, y a los 56 y 78 días en el segundo. Se evaluó el rendimiento comercial, el peso por planta y los días a cosecha, el análisis de la variancia se realizó mediante el paquete estadístico SAS.

*Se obtuvieron diferencias significativas (P(0.05) para rendimiento comercial y altamente significativas (P(0.01) para peso por planta a favor de la solarización, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para días de transplante a cosecha, la pérdidas de rendimiento debidas a *Sclerotinia sp.* fueron nulas en la primera fecha y del 6.41 % en la segunda en las parcelas testigo; en las parcelas solarizadas no se registraron pérdidas por este patógeno (ver Gráf. 4), considerando, los bajos niveles de pérdidas debidas a enfermedades, además de los cambios sufridos en la fertilidad del suelo, el mayor efecto, de la solarización en este ensayo, fue el control malezas.*

Gráfico 5. Rendimiento en gramos por m², para 2 variedades de lechuga (Br= Brisa, C= Condor), en dos ciclos de cultivo (1 y 2).

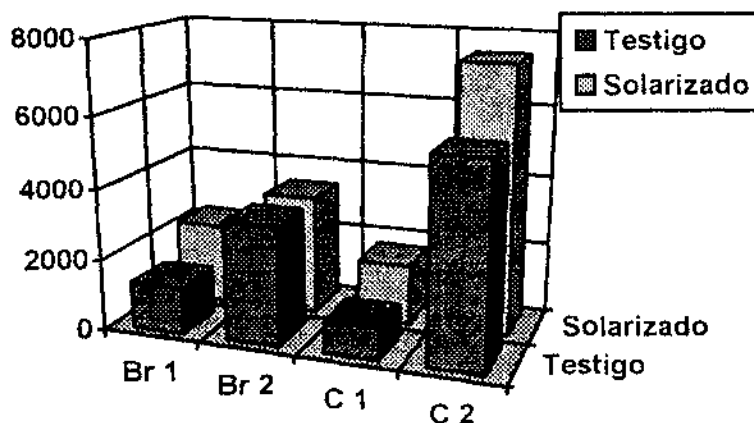
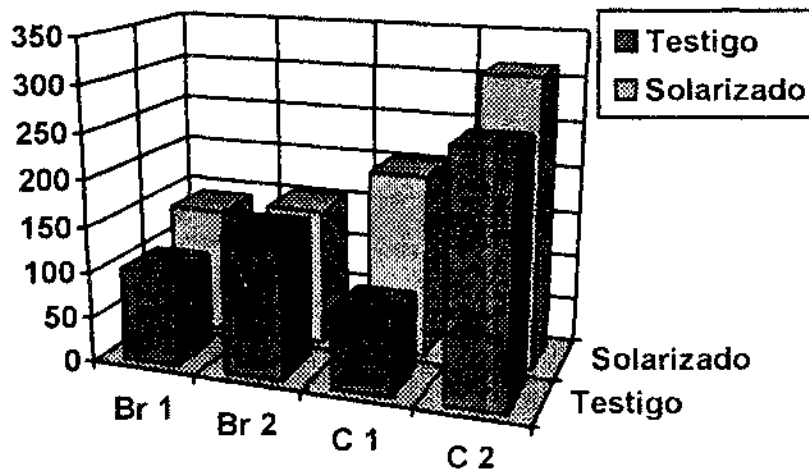


Gráfico 6. Peso por planta (g) , para 2 variedades de lechuga (Br= Brisa, C= Condor), en dos ciclos de cultivo (1 y 2).

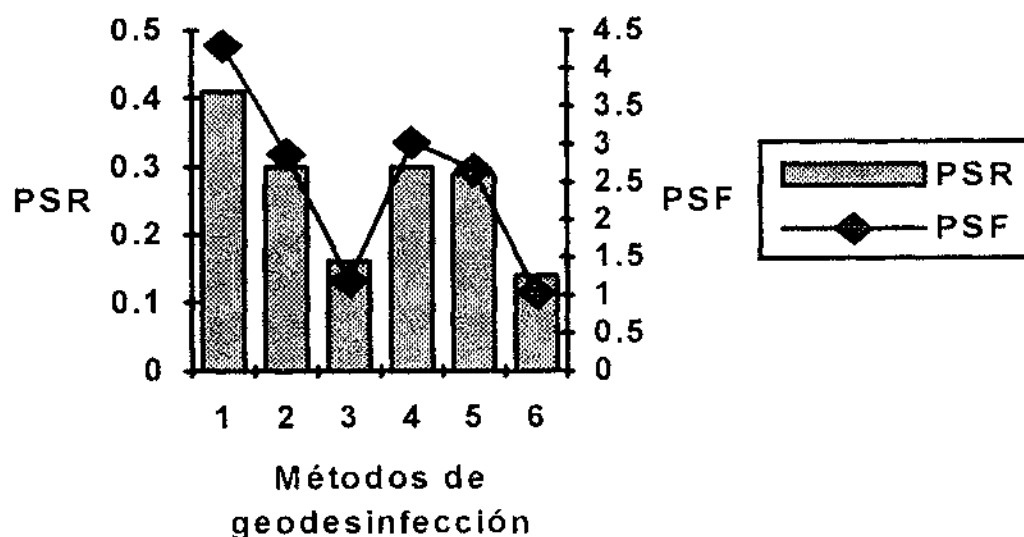


La solarización es un método práctico y efectivo para la desinfección de sustratos destinados a la producción de plantines, sólo requiere del productor la planificación de la cantidad de plantines y tipo de envase que usará para producirlos, la técnica se realiza fuera del invernáculo, por lo que no implica un desaprovechamiento del mismo.

Chen y Katan (1980), obtuvieron aumentos de peso seco, con respecto al testigo en plantines de 4 semanas de pimiento y tomate (38 y 56 % respectivamente), crecidos en suelo solarizado. En otra experiencia, después de los 55 días, la altura de plantas de tomate crecidas en suelo solarizado fue 28 % mayor que el testigo y el número de racimos por planta 25 % mayor. También obtuvieron aumentos en el peso seco de plantines de poroto del 41 %, a los 14 días de la siembra. Por último estos autores, observaron un efecto promotor del crecimiento en plantines de tomate tratados con una solución proveniente de extractos de suelo solarizado, para las variables analizadas (altura de planta, largo de hoja y peso seco por planta).

En la EEA del INTA de San Pedro, Mitidieri et al., (1994), probaron el efecto de diferentes métodos de geodesinfección, para la producción de plantines en invernadero. El efecto de la solarización se evidenció a través de una mayor altura y peso seco de raíz y follaje de los plantines, diferenciándose marcadamente del resto de los tratamientos, siendo los menos efectivos la esterilización con Metam Sodio y el testigo (Ver Gráfico 7).

Gráfico 7. Efecto de distintos métodos de geodesinfección sobre la producción de plantines de tomate en invernáculo (Mitidieri et al., 1994).



PSR=Peso seco raíz (g), PSF= Peso seco follaje (g);

1- Mezcla solarizada

2- Mezcla esterilizada por vapor a 110 °C durante 30 minutos

3- Mezcla tratada con metam sodio

4- Mezcla tratada con metam sodio y esterilizada a 100 °C durante 30 minutos

5- Mezcla autoclavada a 75 °C durante 30 minutos

6- Testigo

Cuadro 4. Efecto de la solarización sobre la producción y el crecimiento de los cultivos.

CULTIVO	EFFECTO DE LA SOLARIZACION	AUTOR	PAIS
Tomate			
Invernáculo	Aumento en el peso seco de raíces y brotes (45 - 59 %) de plantines. Mayor desarrollo del cultivo y precocidad.	Garniel y Katan, 1992 Carta, 1989.*	Israel Italia Puglia, Sicilia
A campo	Mejoras en el stand de plantas y en el crecimiento, aumentos del rendimiento del 242 %.	Abdel-Rahim, 1988.	Egipto El Manayef
A campo	Efectos a largo plazo sobre el crecimiento de la planta y el rendimiento, luego de un cultivo de cebolla.	Abdel-Rahim, 1988.	Egipto Ismailla
A campo	Aumentos en la altura de las plantas (27.3 %) y en el rendimiento (172%).	Abdel-Rahim, 1988.	Egipto Fayed Italia
Invernáculo	Aumentos en la altura de las plantas (11 %), en la precocidad y el rendimiento acumulado (24 %).	Cosentino et al, 1993.	Italia Sicilia
Invernáculo	Mayor altura, peso seco de raíz y parte aérea en plantines, con respecto al testigo y a otros métodos de geodesinfección.	Mitidieri et al., 1994.	Argentina San Pedro (B)
A campo	Aumentos de peso seco del 56 % en plantines, mayor altura de plantas (28 %) y número de racimos por planta (25%).	Chen y Katan, 1980.	Israel
Poroto			
Invernáculo	Rendimientos de 41 - 37 % mayores.	Tarnietti y Garibaldi, 1989.*	Italia Liguria
Invernáculo	Aumentos de peso seco del 41 % en plantines.	Chen y Katan, 1980.	Israel
Frutilla			
A campo	Aumentos en el rendimiento.	Cortellini et al, 1990.*	Italia EmiliaRomagna
A campo	Aumentos del rendimiento del 44 %.	Chen y Katan, 1980.	Israel
Lechuga			
Invernáculo y a campo	Aumentos en el rendimiento del 32 al 59 %. Aumentos en la emergencia del 32 al 46 %.	Triolo et al, 1985, 1987, 1988, 1989.* Materazzi et al, 1987 a y b. Vannacci et al, 1987.*	Italia Toscana Lazio
A campo	Aumentos en el rendimiento del 78.2 al 43 %, incrementos en la emergencia entre el 42-30 %.	Mitidieri et al., 1993.	Argentina San Pedro (B)
Invernáculo	Aumentos en el rendimiento y en el peso por planta en dos ciclos sucesivos.	Mitidieri et al., 1995.	Argentina
Invernáculo	Aumentos en la emergencia del 100 % y en el rendimiento del 36.8 %.	Mitidieri, 1995.	Argentina

<u>Papa</u> A campo	Aumentos de rendimiento de 92 qq/ha.	Lahoz et al, 1990.*	<u>Italia</u> Campania
<u>Arveja</u> A campo	Aumentos de rendimiento de 14 qq/ha.	Lahoz et al, 1990.*	<u>Italia</u> Campania
<u>Haba</u> A campo	Aumentos en el rendimiento (26 - 155 %), a pesar de haber menor número de nódulos de <i>Rhizobium</i> por planta, mayor altura y número de ramas por planta en general, efecto a largo plazo, en rotación con maíz o girasol.	Abdel-Rahim, et al, 1988.	<u>Egipto</u> Giza
<u>Cebolla</u> A campo	Aumentos en la altura de plantas (40 %), número de hojas (33 %), diámetro de cuello (50%) y de bulbo (50 %).	Abdel-Rahim et al., 1988.	<u>Egipto</u> Ismailia
A campo	Aumentos en el rendimiento de cebollas (29 %), en ausencia de patógenos.	Rabinowitch et al., 1985.	
<u>Algodón</u> A campo	Aumentos de rendimiento del 87 al 120 %, en tres ciclos sucesivos después de la solarización.	Katan et al., 1983.	<u>Israel</u>
<u>Berenjena</u> A campo	Aumentos en el rendimiento (215 %) y peso por fruto (25 %).	Katan et al., 1976.	<u>Israel</u>
<u>Ajo</u> A campo	Aumentos del rendimiento entre 40,6 -155 % y aumentos en la proporción de bulbos de diámetro de 45-50 mm.	Basallote-Ureba et al., 1993.	<u>España</u> Córdoba
<u>Melón</u> Invernáculo	Aumento de la producción y el número de frutos con diámetro mayor a 5 cm, mayor peso fresco y contenido de manganeso en hojas, mayor peso fresco y longitud de las raíces en las plantas que crecieron en suelo solarizado.	Vannacci et al., 1993.	<u>Italia</u>
<u>Zapallito de tronco</u> A campo	Aumento de rendimiento con respecto al testigo carpido y a los tratamientos con herbicidas.	Mitidieri y Constantino, 1995.	<u>Argentina</u> San Pedro (B)
<u>Rabanito</u> Invernáculo	Aumento del peso fresco y seco de la parte aérea, mayor rendimiento a través de mayor diámetro de raíces y contenido de agua.	Vannacci et al, 1987	<u>Italia</u>

* Citados por Triolo, 1990.

Estimación del costo de la solarización

Para aplicar esta técnica en un invernadero de 1000 m² (20 x 50 m), considerando que cada faja de plástico debería ir enterrada unos 30 cm en cada borde, para asegurar la hermeticidad de la cobertura del terreno, se requieren $6.7 \cong 7$ fajas para cubrirlo por completo, considerando un ancho de rollo de polietileno de 3.60 m, esto constituyen aproximadamente 350 metros lineales de plástico, lo que es decir 4 rollos de 100 metros. El precio aproximado del rollo del polietileno cristal de 50 micrones (3.60 m de ancho x 100 de largo) es de \$ 48 (Septiembre 1995), si consideramos que se requieren 4 obreros para realizar esta práctica en un día, el costo final sería:

<p>* 4 rollos x \$ 48 = \$ 192 * 4 jornales x \$ 20 = \$ 80 Total = \$ 272/1000 m²</p>
--

Para conocer el costo de la desinfección de la misma superficie de terreno, con Bromuro de Metilo, se debe agregar al costo calculado anteriormente, el de la garrafa de 50 kg de Bromuro que sería necesaria, el cual es aproximadamente de 327 pesos.

La utilización de maquinarias modernas que permitan automatizar la colocación del plástico, así como también hacer más eficiente su utilización posiblemente reduzcan este costo en un futuro. Otra manera de abaratar esta técnica sería la utilización de plástico usado, por lo que se necesitarán pruebas para conocer la eficacia de su uso.

La estimación del resultado económico de la solarización debe tener en cuenta:

- * Los aumentos en rendimiento y calidad de los cultivos.
- * El ahorro en el uso de fungicidas, herbicidas y en ciertos casos insecticidas.
- * El ahorro en mano de obra destinada al control manual de malezas.
- * La obtención de un producto con bajo nivel de residuo de plaguicidas.
- * El bajo impacto ambiental de la técnica, acompañado del escaso riesgo para los operarios.
- * Su efecto a largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

- Abdel-Rahim, M. F., Satour, M. M., Mickail, K. Y., El-Eraki, S. A. Grinstein, A., Chen, Y., y Katan, J.** (1988) Effectiveness of soil solarization in furrow-irrigated Egyptian soils. *Plant Disease* 72:143-146.
- Basallote-Ureba, M. J., y Melero-Vara, J. M.** (1993) Control of garlic white rot by solarization. *Crop Protection* 12:219-223.
- Chen, Y. y Katan, J.** (1980) Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. *Soil Science* Vol. 130, No.5: 271-277.
- Cosentino, S., Sortino, O., Colombo, A. y Nucifora, A.** (1993) Pomodoro in serra fredda: la solarizzazione del terreno. *Colture Protette*, N.2, pag 87-91.
- Gamliel, A. y Katan, J.** (1992) Influence of Seed and Root Exudates on Fluorescent Pseudomonads and Fungi in Solarized Soil. *Phytopathology*, Vol. 82, No. 3,
- Katan, J., Greenberger, A., Alon, H. y Grinstein, A.** (1976) Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66:683-688.
- Katan, J.** (1981) Solar Heating (Solarization) of Soil for Control of Soilborne Pests. *Ann. Rev. Phytopathol.* 19:211-36.
- Katan, J., Fishler, G. y Grinstein, A.** (1983) Short-and-long-term effects of soil solarization and crop sequence on Fusarium wilt and yield of cotton in Israel. *Phytopathology* 73:1215-1219.
- Katan, J.** (1987) Soil Solarization. *En: Innovative Approach to Plant Disease Control.* Wiley Interscience Publication, 372 pags.
- Materazzi, A., Iandolo, R., Triolo, E. y Vannacci, G.** (1987 a) La solarizzazione del terreno. Un mezzo di lotta contro il "Marciume del colletto" della lattuga. *L'Informatore Agrario* No. 28:97-99.
- Materazzi, A., Triolo, E., Vannacci, G. y Scaramuzzi, G.** (1987 b) Impiego della solarizzazione del terreno per il controllo del "Marciume del colletto" della lattuga in serra. *Colture Protette*. No. 10:51-54.
- Mitidieri, I. de, Mitidieri, A. y Amma, A.** (1993) Efecto de la solarización del suelo en el control de la podredumbre del cuello de la lechuga (*Sclerotinia sclerotiorum* y *Sclerotinia minor*) de las malezas y en las condiciones edáficas. XVI Congreso Argentino de Horticultura, Corrientes, Argentina.

Mitidieri, I. de y Mitidieri, M. (1994) Efecto de la geodesinfección sobre la producción de plantines de tomate en invernáculo. *Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale*- 88(3):539-545.

Triolo, E., Materazzi, A. y Vannacci, G. (1990) La solarizzazione: un terzo metodo di sterilizzazione parziale del terreno? Risultati di un decennio di ricerche in Italia. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose, sez. Patologia Vegetale, Università di Pisa.

Vannacci, G. , Materazzi, A. y Triolo, E. (1987) Effects of solar heating on soil-borne *Rhizoctonia solani* in greenhouses. Seventh Congress of the Mediterranean Phytopathological Union, Septiembre 20-28, Granada, Spain.

Vannacci, G., Panattoni, A., Materazzi, A. y Triolo, E. (1993) Esperienze di solarizzazione del terreno per la lotta contro *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* in coltura protetta. *Colture protette*. Suplemento No 1:69-72.

EFFECTO SOBRE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Ing. Agr. Adolfo Amma

SOLARIZACION
EFECTO SOBRE LA FERTILIDAD ACTUAL DEL SUELO

Adolfo T. Amma (*)

MATERIA ORGANICA

La materia orgánica del suelo se presenta, por una parte, en forma de residuos de animales y vegetales más o menos reconocibles en diferentes estados de descomposición y el resto en forma de sustancias adheridas a la fracción mineral.

La mayoría de las propiedades físico-químicas del suelo están controladas por las arcillas y la materia orgánica; puede decirse que ambos constituyen los centros activos alrededor de los cuales ocurren las reacciones químicas y los intercambios de nutrientes, pues además de atraer los iones hacia sus superficies coloidales lo retienen evitando su lavado y liberándolos lentamente para ser utilizados por las plantas.

MINERALIZACION DE LA MATERIA ORGANICA

Los factores que influyen sobre la mineralización y humificación de la materia orgánica pueden dividirse en internos y externos.

Internos:

Se refieren a las características de los restos animales y vegetales incorporados al suelo. La cantidad y la composición, como ser relación C/N, relación lignina/celulosa, contenido de minerales, etc.

La relación C/N es variable de acuerdo a las especies y edad, las plantas jóvenes generalmente presentan relaciones C/N alrededor de 20. Al madurar baja el contenido de proteína y minerales y aumenta el de la lignina, se incrementa la relación C/N a valores mayores de 30; de esta manera decrece la susceptibilidad del sustrato a la mineralización. Como regla general, cuando se incorporan al suelo materiales orgánicos con una relación C/N mayor de 30, hay una inmovilización del nitrógeno mineral durante la parte inicial del proceso de descomposición. Para relaciones entre 20 y 30, no hay inmovilización ni liberación. Si los materiales orgánicos tienen una relación menor de 20, hay, usualmente una liberación de nitrógeno mineral desde el principio de su descomposición. Estas, son tan solo reglas generales, puesto que muchos otros factores, además de la relación C/N, influyen en la descomposición de los materiales orgánicos y los procesos de liberación e inmovilización del nitrógeno mineral.

En el cuadro 1 se insertan valores de relación C/N de especies más comunes.

(*): Ing. Agr. (MSc.): Grupo Suelos y Agrometeorología, E.E.A. INTA San Pedro, CC 43 (2930) San Pedro, Bs.- As.

Externos:

Siendo la mineralización de la materia orgánica un proceso esencialmente microbiológico, la composición y la cantidad de la microflora y la microfauna constituyen los factores edáficos de mayor incidencia. Otros factores como: el pH, granulometría, riqueza y disponibilidad de nutrientes, régimen hídrico, aereación, temperatura, influyen sobre la flora y fauna e indirectamente sobre la mineralización de la materia orgánica.

La mayor parte de las bacterias, actinomicetes y macrofauna se desarrollan mejor a un pH neutro o ligeramente alcalino; en cambio, los hongos presentan un rango más amplio y con tendencia a la acidez.

La temperatura y humedad del suelo tienen gran influencia sobre la mineralización de la materia orgánica. Las bacterias requieren un mayor contenido de humedad y temperatura más elevada que los hongos. El óptimo de temperatura para las bacterias varía entre 30 y 50°C. y de 20 a 25°C para los hongos (Fassbender, H.). Se ha observado descomposición de materia orgánica a temperaturas superiores a 50°C., aunque ello puede ser debido a procesos químicos que ocurre en superficies húmedas de suelo en climas calurosos. (Kononova, M.M.). El contenido de humedad óptimo para la mineralización de la materia orgánica varía entre 60 a 80% de la capacidad de campo del suelo.

ENSAYOS DE SOLARIZACION: CARACTERISTICAS.

A: Efecto de la solarización del suelo en el control de la podredumbre del cuello de la lechuga (*Sclerotinia sclerotiorum* y *S. minor*), de las malezas y en las condiciones edáficas.

Cultivo de lechuga a campo: Gallega
Período de solarización: 21/01 al 7/03/1992.
Polietileno utilizado: transparente 40 micrones.
Tratamientos:

- A: Solarizado
- B: No Solarizado

Subtratamientos:

Métodos de control -4 formas de control de *Sclerotinia*.
Diseño experimental: Parcelas divididas, 4 repeticiones.

Muestreo de suelo y análisis químico:

Se tomaron de ambos tratamientos -solarizado y no solarizado- muestras superficiales compuestas (0 - 12 cm) de cada una de las repeticiones y en dos momentos. Primer muestreo previo a la solarización y el segundo posterior al tratamiento de solarización.

Se determinaron los siguientes parámetros: pH, Carbono Orgánico, Materia Orgánica, Nitrógeno Total y Fósforo asimilable.

Resultados:

A continuación se insertan los valores medios de las repeticiones de las muestras correspondientes a los tratamientos solarizado y no solarizado.

	pH	C.Org. %	M.Org. %	N.Total %	P Asimil ppm
SOLARIZADO					
Antes Solar.	7,5	1.300	2.235	0.125	73,7
Despues Solar.	7.1	1.185	2,038	0.130	81,5
Test "t" 5%	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
NO SOLARIZADO					
Antes Solar.	7.6	1.30	2.24	0.127	74.9
Despues Solar.	7.7	1.37	2.36	0.126	72.6
Test "t" 5%	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Los datos analíticos de las muestras de suelo tomadas antes y despues de realizado el tratamiento, muestran una tendencia a que las correspondientes a la parte solarizada tengan menor contenido de carbono orgánico, materia orgánica y mayor disponibilidad de nitrógeno total y fósforo asimilable que las no solarizadas. Esto podría ser consecuencia de una mayor mineralización de la materia orgánica, en el primer caso, al estar sometido a una mayor temperatura y bajo condiciones adecuadas de disponibilidad hídrica para la actividad microbiana.

Aparentemente, la solarización tiende a aumentar la fertilidad actual en detrimento de la fertilidad potencial del suelo.

B: Efecto de la solarización del suelo de invernáculo sobre el rendimiento de lechuga cultivado con y sin media sombra.

Tratamiento:

- 1: Solarizado
- 2: No Solarizado

Repeticiones: 5

Mediciones climáticas:

Se realizaron las siguientes mediciones durante el período de solarización -9/01 al 4/02/95

- temperatura de suelo solarizado y no solarizado a 5 cm prof.
- temperatura de suelo solarizado y no solarizado a 10 cm prof.
- temperatura del aire a 1,50 m.

- Humedad relativa a 1.50 m.

Muestreo de suelo y análisis químico:

Luego de la solarización se tomaron muestras superficiales compuestas de ambos tratamientos y se determinó pH, Carbono Orgánico, Materia Orgánica, Nitrógeno Total y Fósforo asimilable.

RESULTADOS:

A: Datos climáticos:

Temperatura de suelo promedio período 9/01 al 4/02/95

	Temp. Media	T.Mín. Media	T.Máx. Media	T.Mín. Absol.	T.Máx. Absol.
Solariz. 10 cm.	40.0	29.0	46.1	19.3	55.6
No Solariz. 10 cm	34.2	25.1	40.1	15.2	54.1
Solariz. 5 cm.	39.4	28.1	46.4	18.5	55.6
No Solariz. 5 cm.	33.9	24.3	41.4	14.9	55.6

La temperatura de suelo en los sectores con solarización tuvieron, en promedio, alrededor de 4 a 5 °C más altas que en los sectores testigos. No se detectó diferencias entre solarizado y no solarizado en temperatura máxima absoluta, pero sí en la mínima absoluta, alrededor de 4°C más alta en la parte solarizada.

Los valores de temperatura máxima y mínima diarias de suelo a 10 cm. de profundidad pueden observarse en los gráficos 1 y 2.

B: Datos analíticos de muestras de suelo.

	pH	C.Org. %	M.Org. %	N.Total %	P Asim. %
Solarizado	7.37	2.158	3.72	0.171	180.4
No Solarizado	7.35	2.222	3.83	0.166	202.6
Test "t" 5%	N.S.	**	**	N.S.	N.S.

En el ensayo realizado en 1992 a campo, se había detectado una tendencia a que la solarización inducía a una intensificación de los procesos de mineralización de la materia orgánica del suelo, ello se confirma en el presente ensayo. Se ha constatado una disminución significativa en el contenido de carbono orgánico y por ende de materia orgánica en las muestras correspondientes a los sectores solarizados con respecto a los testigos. Asimismo, el contenido de nitrógeno total tiende a ser mayor en el primer caso. El contenido de fósforo asimilable tiende a ser mayor en las parcelas no solarizadas. que en las solarizadas.

Ello se debe a una marcada variación en la distribución del fósforo en el suelo como consecuencia de la fertilización y enmienda realizadas con anterioridad. Los valores de fósforo detectados son típicos de suelo dedicados a la producción intensiva bajo cubierta.

La solarización constituye una tecnología que tiende a aumentar la capacidad productiva del suelo a través del mejoramiento de distintos factores de producción, entre ellos la fertilidad del suelo. Este aspecto es importante aún en la producción hortícola bajo cubierta en donde los suelos, por lo general, poseen una alta disponibilidad de nutrientes como resultado del aporte de fertilizantes químicos y enmiendas orgánicas.

Bibliografía:

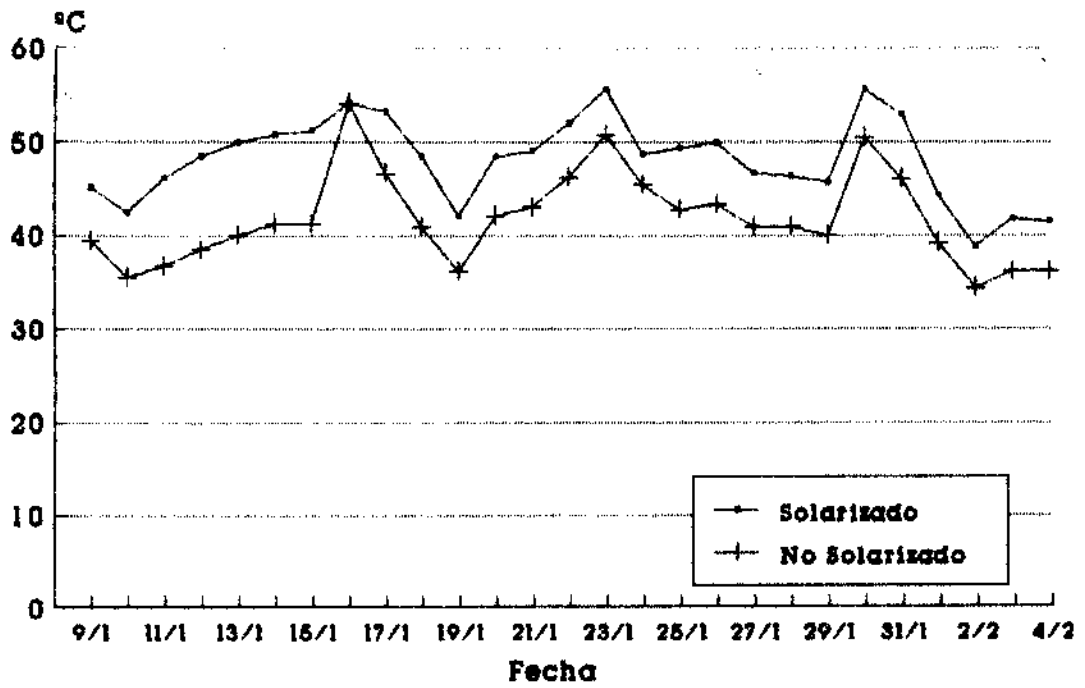
- Darwich, N.A. Manual de Fertilidad de Suelo. Sec. Gan. y Pesca. INTA. 1989.
- Fassbender, H.W. Química de suelos. Inst. Interamer. Ciencias Agrícolas. OEA. Turrialba, Costa Rica. 1975
- Kononova, M.M.; T.Z. Nowakowski and A.C.D. Newman. Soil Organic Matter. Its Nature, Its Role in Soil Formation and in Soil Fertility. Pergamon Press. 1966.

Cuadro 1: Relación C/N de algunos materiales orgánicos

Materiales Orgánicos	Relación C/N
Trébol blanco (joven)	12 / 1
Centeno verde	36 / 1
Rastrojo de soja	45 / 1
Rastrojo de maíz	70 / 1
Rastrojo de girasol	60 / 1
Paja de trigo	80 / 1
Aserrín	400 / 1

SOLARIZACION

Temperatura máxima de suelo a 10 cm.



SOLARIZACION

Temperatura mínima de suelo a 10 cm.

